

# DEBLJINSKI PRIRAST STABALA KAO BIOINDIKATOR NJIHOVE VITALNOSTI: STUDIJA SLUČAJA SA PODRUČJA DESPOTOVCA

## DIAMETER INCREMENT OF TREES AS A BIOINDICATOR OF THEIR VITALITY: A CASE STUDY FROM DESPOTOVAC REGION

Branko Stajčić<sup>1\*</sup>, Slavoljub Dimitrijević<sup>2</sup>, Marko Kazimirović<sup>1</sup>, Vojislav Dukić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Kneza Višeslava 1, 11030 Beograd, Srbija

<sup>2</sup>JP "Srbijašume", ŠG "Južni Kučaj", 35213 Despotovac, Srbija

<sup>3</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 75A, 78000 Banja Luka, BiH

\*e-mail: branko.stajcic@sfb.bg.ac.rs

### Izvod

Istraživanje procesa devitalizacije i sušenja stabala vršeno je u veštački podignutoj sastojini crnog bora na području Despotovca, Srbija. Analiziran je debljinski prirast 30 dominantnih stabala, razvrstanih na osnovu okularne ocene intenziteta devitalizacije u tri kategorije: zdrava (bez vidljivih simptoma sušenja), devitalizovana (stabla sa proređenim krošnjama i slabo izraženim simptomima sušenja) i jako devitalizovana (stabla sa suvim većim delom krošnje). Nakon procesa sinhronizacije debljinskog prirasta stabala definisani su indeksi debljinskog prirasta ove tri kategorije stabala. U cilju kvantitativne ocene devitalizacije i utvrđivanja procenta gubitka prirasta kod devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala računati su i dvostruki indeksi, nastali staljanjem u odnos indeksa debljinskog prirasta jako devitalizovanih i devitalizovanih stabala sa indeksima debljinskog prirasta zdravih stabala.

Rezultati su pokazali da kod svih kategorija stabala u periodu od 1960. do 2000. godine postoje slučajne varijacije indeksa debljinskog prirasta i preklapanje linija njihovih tokova, bez nekih jasnih razlika u "šablonu" reakcije na prisutne stimulativne i ograničavajuće faktore rasta. Jasna i izražena odstupanja u prirastu zdravih, sa jedne strane i devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala, sa druge strane, utvrđena su od 2008. godine. Prirast jako devitalizovanih stabala u 2014. godini iznosio je nešto manje od 42%, a devitalizovanih 67% ostvarenog prirasta zdravih stabala. Daljom analizom indeksa prirasta stabala uočeno je da razlike u prirastu ovih kategorija stabala počinju da se pojavljuju još od 2000. godine. Ova činjenica upućuje na zaključivanje da je proces stvarne devitalizacije stabala počeo pre oko 15 godina, kada nije bilo nikakvih vidljivih simptoma.

**Ključne reči:** bioindikator, debljinski prirast, sušenje šuma, veštački podignuta sastojina crnog bora, vitalnost, Srbija

## 1. UVOD / INTRODUCTION

Svaka promena osnovnih faktora za rast šuma odražava se na dinamiku i trendove prirasta šumskih stabala. Prema tome, izrazito opadanje prirasta u dužem vremenskom periodu i izostanak izraženijeg reagovanja stabala na

promenu uslova za rast (kako stimultivnih tako i ograničavajućih), ukazuje na njihovu fiziološko slabljenje i gubitak sposobnosti revitalizacije (Vučković, 1993). S tim u vezi, prirast stabala predstavlja nezamenljiv pokazatelj koji verno

“oslikava” prirodu reakcije stabala na delujuće promene uslova životne sredine, koje su posebno aktuelne u 21. veku. Takođe, detaljnija istraživanja stabala zahvaćenih sušenjem ukazuju na to da njihov prirast može imati dugogodišnju tendenciju odstupanja od “normalnog” trenda i da slabljenje vitalnosti može otpočeti dosta pre pojave okularno vidljivih simptoma (Vučković & Stamenković, 2000; Vučković et al., 2008). Stoga se prirast može smatrati pouzdanijim bioindikatorom vitalnosti stabala i ekoloških uslova u kojima je stablo raslo (Fritts, 1976, Stamenković & Vučković, 1988; Pranjić & Lukić, 1988; Vučković & Stamenković, 1991; Vučković, 1993/1994; Vučković et al., 1998, Vučković & Stajić, 2003; Dobbartin, 2005; Vučković et al., 2005; Dukić & Maunaga, 2007, 2009; Stajić, 2010, 2014 itd.) i parametrom za prognozu – predviđanje nastupanja devitalizacije i potpunog odumiranja stabala u budućnosti (Bigler & Bugman, 2003, 2004; Linares & Camarero, 2010 itd.). Takođe, kao signal postojanja vizuelno neuočljivog procesa devitalizacije stabala može se smatrati i prisustvo tzv. pojave ispadanja godova kod svih stabala, a naročito iz kategorije dominantnih (Vučković, 1993; Stajić, 2014).

U svrhu istraživanja devitalizacije i sušenja stabala, kao i umanjenja prirasta, naročito je prikladna primena kvantitativne i kvalitativne analize prirasta stabala u debljinu, s obzirom na mogućnost egzaktnog merenja prirasta i njegovu usku vezu sa klimatskim i drugim ekološkim činiocima, kao i mogućnost prikupljanja podataka i u dalekoj prošlosti. S tim u vezi, moguće je preko veličine radijalnog ili debljinskog prirasta permanentno pratiti reakciju stabala na promenu navedenih faktora i na taj način blagovremeno konstatovati eventualno postojanje i intenzitet devitalizacije. Takođe, poređenjem debljinskog prirasta devitalizovanih stabala, sa jedne strane i zdravih stabala, sa druge strane, moguće je izvršiti rekonstrukciju različitih dešavanja u prošlosti i kvantifikovati gubitke u prirastu izazvane dejstvom različitih štetnih faktora (Pollanschütz, 1971; Eichorn, 1986; Röhle, 1987; Gerecke, 1989; Pretzsch, 1989; Muzika & Liebhold 1999; Cherubini et al., 2002; Loch & Matsuki, 2010; Stajić et al., 2014 itd.), što su informacije od

posebnog značaja kada su u pitanju proizvodna i ekonomska komponenta gazdovanja šumama. Ekstremno male ili velike iznose debljinskog prirasta i godine u kojima su isti postignuti, zbog svog velikog značaja za sagledavanje reakcije stabala na promene uslova sredine, Schweingruber et al. (1990) nazivaju tzv. morfološkim signalima jakih ekoloških uticaja. S obzirom da su karakteristične godine one godine kada su stabla u toku rasta bila izložena dejstvu ekstremnih uticaja, karakteristične godine, nastale u tim godinama, Stajić (2010) naziva “ogledalom” učestalosti i jačine ovakvih uticaja. Imajući u vidu sve prethodno, Vučković et al. (2005) stoga napominju da “... saznanja o potrebi stalnog obezbeđenja stabilnosti šumskih ekosistema a time i egzistencijalne osnove šumarstva, upućuju na potrebu produbljenih istraživanja i monitoringa prirasta šumskog drveća kao kompleksnu reakciju stabla na stimulativna i ometajuća delovanja egzogenih i endogenih faktora ...”.

Prema podacima Nacionalne inventure (Banković et al., 2009) šume crnog bora u ukupnom šumskom fondu Srbije pokrivaju površinu od 126 000 ha (5,6%). Na ovoj relativno maloj površini, veštački podignute sastojine zauzimaju 68,3%, a sastojine prirodnog porekla 31,7%. Crni bor predstavlja autohtonu vrstu koja je najčešće korišćena za pošumljavanja, a posebno u periodu posle drugog svetskog rata. Pošumljavanja ovom vrstom su pretežno vršena na staništima drugih vrsta drveća, pa, u slučaju predugačkih ophodnji i neadekvatnog gazdinskog tretmana, privredna i ekološka efikasnost i stabilnost ovakvih veštački podignutih sastojina mogu biti značajno narušeni i ugroženi. Stoga je u takvim slučajevima često prisutan proces devitalizacija stabala, a zatim i potpuno sušenje delova krošnji, pa čak i celih stabala i grupa stabala. Čak i kada sastojina vizuelno ostavlja utisak dobro obrasle i uredno negovane, te sa aspekta vitalnosti i nivoa produkcije na prvi pogled “zaslužuje” visoku ocenu, niz različitih “skrivenih” indikatora može ukazivati na činjenicu da aktuelna izgrađenost date sastojine, ipak, nije povoljna sa aspekta njenog daljeg razvoja, potrebnog nivoa stabilnosti i približavanja stanišno mogućem produkcijom potencijalu (Vučković et al., 2008).

Sve prisutnija pojava sušenja i devitalizacije stabala crnog bora u veštački podignutim sastojinama, koja je u poslednjim godinama poprimila velike razmere, predstavlja ozbiljan problem i izazov za šumarsku struku i nauku u Srbiji. U tu svrhu, cilj ovog rada je da se istraže tokovi debljinskog prirasta stabala crnog bora na području Despotovca. "Specifičan" cilj rada predstavlja analiza mogućnosti primene debljinskog prirasta u svrhu sagledavanja procesa devitalizacije i njegovog detektovanja pre pojave vidljivih simptoma. Na osnovu prethodnih saznanja i potrebe provere "karaktera" utvrđenog procesa devitalizacije i sušenja stabala, postavljena je polazna hipoteza: odstupanja tokova prirasta zdravih stabala (bez vidljivih simptoma sušenja), sa jedne strane i devitalizovanih (stabla sa proređenim krošnjama) i jako devitalizovanih stabala (sa suvim većim delom krošnje), sa druge strane i proces devitalizacije (sušenja) stabala crnog bora na području Despotovca počeli su više godina pre pojave vidljivih simptoma sušenja. U svrhu realizacije date hipoteze i ciljeva istraživanja postavljeni sledeći zadaci:

- Utvrđivanje veličina radijalnog, odnosno debljinskog prirasta stabala crnog bora,

- Kvantitativna i kvalitativna analiza tokova debljinskog prirasta,
- Utvrditi procentualne gubitke u prirastu suvih i devitalizovanih stabala u odnosu na zdrava stabla,
- Davanje prognoze o karakteru procesa uočene devitalizacije stabala

Imajući sve prethodno u vidu, ovde sprovedena istraživanja karakteristika debljinskog prirasta crnog bora u jednoj veštački podignutoj sastojini u Despotovcu treba da doprinesu razumevanju specifičnosti vezanih za utvrđivanje vremena nastanka procesa devitalizacije stabala na ovom lokalitetu, ali i u uopšteno. Takođe, rezultati ovih istraživanja trebaju ponovo "testirati" aplikativnost istraživanja trendova rasta i prirasta u svrhu rane detekcije narušavanja devitalizacije i zdravstvenog stanja stabala, mnogo ranije nego što se to može vizuelno uočiti. Rezultati proučavanja ovog tipa, pored toga što imaju poseban naučni značaj, spadaju u domen saznanja koja mogu imati važnu aplikativnu vrednost za donosiocel odluka u šumarstvu.

## 2. MATERIJAL I METODE / MATERIAL AND METHODS

Kao polazni materijal u ovom radu poslužili su podaci i rezultati Dimitrijevića (2015). Istraživanja su vršena na području Gazdinske jedinice „Troglan bare“ koja se nalazi u okviru šumskog gazdinstva „Južni Kučaj“, smeštenog u Južnokučajskom šumskom području. Prema georeferentnom sistemu, GJ „Troglan Bare“ nalazi se između 19° 15' i 19° 26' istočne geografske dužine i između 43° 57' i 44° 01' severne geografske širine.

Geološku podlogu u ovoj gazdinskoj jedinici čini krečnjak, a ispod njega se javljaju starije stene - paleozoitski škriljci i crveni peščari. Prema podacima iz Osnove gazdovanja šumama sastojina se nalazi na rendzini (plitko zemljište), na organogenom jedrom krečnjaku u raspadanju. Najmanja količina padavina je u januaru i martu, a najveća u junu i aprilu. Ukupna godišnja količina padavina iznosi 614 mm/m<sup>2</sup>. Prosečna relativna vlažnost na mesečnom nivou iznosi 72%. Najtopliji mesec je avgust, a najhladniji januar.

Apsolutni maksimum temperature iznosi 42,4 °C, a apsolutni minimumom -21,0 °C. Apsolutna godišnja amplituda iznosi 63,4 °C.

Istraživanje je vršeno u 45. odeljenju, odsek "b" pomenute gazdinske jedinice, u jesen 2015 godine. To je veštački podignuta sastojina crnog bora u fazi dozrevanja, podignuta na staništu planinske šume bukve (*Fagenion moesiaca montanum*) ili prema novoj klasifikaciji (Tomić & Rakonjac, 2011). - *Asperulo odoratae-Fagetum moesiaca* Sastojina se nalazi na nadmorskoj visini od 780 do 900 metara. Osnovni elementi rasta sastojine prikazani su u Tabeli 1. Pored dominantnog učešća stabala crnog bora, evidentno je prisustvo mladih stabala bukve, koja se polako vraćaju na svoje stanište. Visoki iznosi elemenata rasta, pre svega zapremine i zapreminskog prirasta, na prvi pogled upućuju na zadovoljavajuće stanje sastojine. Međutim, u poslednjih nekoliko godina evidentirano je intenzivno sušenje stabla crnog bora.

**Tabela 1.** Elementi rasta proučavane sastojine / **Table 1.** Growth elements of the studied stand

	Broj stabala		G [m <sup>2</sup> /ha]	V [m <sup>3</sup> /ha]	Iv [m <sup>3</sup> /ha]	dg [cm]	hg [m]
	N/ha	%					
Crni bor	359,0	81,0	29,2	306,7	10,5	31,0	20.3
Bukva	65,0	14,7	1,0	10,0	0,3	16,0	11.4
O.T.L.	19,0	4,3	0,7	7,5	0,2	26,0	17.5
<b>Ukupno</b>	<b>443,0</b>	<b>100,0</b>	<b>30,9</b>	<b>324,2</b>	<b>11,0</b>	-	-

**Napomena.** O.T.L. - ostali tvrdi lišćari / **Note.** O.T.L. - other hardwood broadleaved trees

Za analizu debljinskog prirasta crnog bora u okviru istraživane sastojine odabrano je ukupno 30 dominantnih stabala. Uzorkom je obuhvaćeno 10 zdravih, 10 devitalizovanih i 10 jako devitalizovanih stabala, sa kojih su za analizu debljinskog prirasta uzeti koturovi na prsnoj visini (1,3 m). Koturovi su najpre adekvatno površinski pripremljeni poprečnim zasecanjem sprovodnih snopića, što je omogućilo efikasniji premer u Laboratoriji za istraživanje prirasta i biomonitoring na Šumarskom fakultetu u Beogradu. Premer je vršen pomoću Digitalpoziciometra i mikroskopa *LEICA MS-5*, koji su uvezani i upravljani *RINNTECH* programskim rešenjem *WIN-TSAP*. Debljinski prirast je utvrđivan u četiri upravna pravca sa preciznošću od 0,001 mm i u cilju vizuelne ocene prisustva ili odsustva tzv. ispadajućih ili lažnih godova.

U cilju utvrđivanja početka procesa devitalizacije stabala, koja vizuelno nije uočljiva, kao i detektovanja stepena umanjenja prirasta stabala, primenjivane su standardne metodološke procedure u okviru istraživanja rasta i proizvodnosti šuma, a bazirane na uputstvima i iskustvima Vinš-a (1962) i Pollanschütz-a (1971). Za primenu ovih procedura neophodno je da stabla budu toliko stara, da se prilikom analize može izdvojiti jedan referentni period pre pretpostavljenog početka devitalizacije stabala (odstupanja od "normalnih" tokova) koji bi, po broju godina u periodu (dužini), trebao biti najmanje dvostruko duži od perioda koji je uzet kao pretpostavljeni period početka devitalizacije stabala. Stoga je za "referentni period", sa očekivanim tokovima prirasta, uzet period od 1960 do 2000. godine, a za pretpostavljeni period početka devitalizacije uzet je period

od 2000. do 2015. godine. Nakon toga, za sve tri kategorije stabala (zdrava, devitalizovana i jako devitalizovana), izvršeno je izravnavanje empirijskih veličina debljinskog prirasta u referentnom periodu (koji je označen kao period u kojem su tokovi debljinskog prirasta bili "normalni") eksponencijalnom funkcijom. Dalje, u cilju eliminisanja uticaja starosti na veličine debljinskog prirasta i omogućavanja međusobnog poređenja dobijenih veličina prirasta, izračunati su indeksi debljinskog prirasta, po formuli:

$$I = I_d / I_r$$

pri čemu su:  $I$  = indeks debljinskog prirasta;  $I_d$  = empirijski (mereni) iznosi debljinskog prirasta;  $I_r$  = "izravnati" iznosi debljinskog prirasta, dobijeni primenom odgovarajućih regresionih jednačina.

Prethodnim postupkom utvrđeni su indeksi debljinskog prirasta zdravih stabala ( $I_z$ ), indeksi debljinskog prirasta devitalizovanih stabala ( $I_D$ ) i indeksi debljinskog prirasta jako devitalizovanih stabala ( $I_{JD}$ ).

Nakon računanja pomenutih indeksa u cilju kvantitativne ocene uočene devitalizacije i utvrđivanja procenta gubitka prirasta kod suvih i devitalizovanih stabala računati su i dvostruki ili relativni indeksi -  $I_{zD}$  [%]. Ovi indeksi se dobijaju stavljanjem u odnos indeksa debljinskog prirasta jako devitalizovanih ili devitalizovanih stabala sa indeksom debljinskog prirasta zdravih stabala, koji se potom množi sa 100 radi dobijanja rezultata u procentima:

$$I_{zD} = I_D / I_z \cdot 100 (\%)$$

$$I_{zJD} = I_{JD} / I_z \cdot 100 (\%)$$

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA / RESULTS

#### Osnovni podaci o debljinskom prirastu stabala / Basic data of the trees diameter increment

Osnovni statistički podaci o veličinama debljinskog prirasta svih 30 analiziranih stabala dati su u tabeli 2. Takođe, u cilju jasnije ocene i predstave o kvalitativnim i kvantitativnim pokazateljima debljinskog prirasta, prikazane su i iznosi debljinskog prirasta svih analiziranih stabala po

grupama (zdrava, devitalizovana i jako devitalizovana) i linije koje povezuju prosečne veličine debljinskog prirasta po analiziranim grupama stabala (Slika 1).

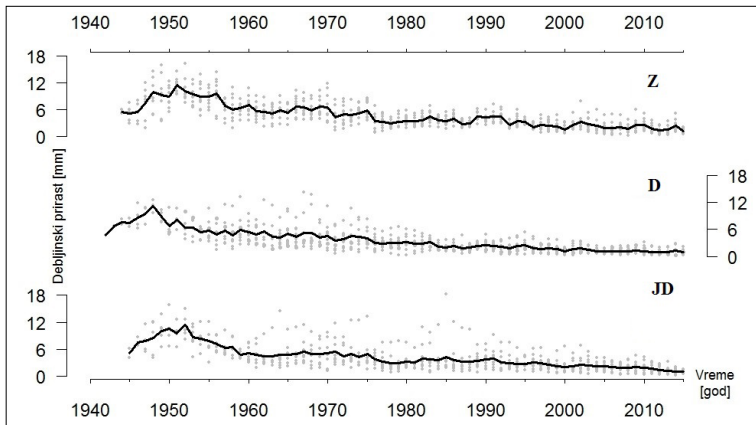
U periodu 1960–2000. godine, minimalna veličina debljinskog prirasta kod zdravih stabala u proseku iznosi 1,57 mm, kod devitalizovanih 0,77 mm i kod jako devitalizovanih 1,31 mm.

**Tabela 2.** Osnovni statistički podaci o debljinskom prirastu stabala / **Table 2.** Basic statistical data of the trees diameter increment

	Za period 1960–2000. godine				Za period 2000–2015. godine			
	Min. [mm]	Pros. [mm]	Maks. [mm]	Stand. dev.	Min. [mm]	Pros. [mm]	Maks. [mm]	Stand. dev.
Z-1	0,81	3,70	6,48	1,42	0,26	0,88	1,58	0,46
Z-2	1,63	3,65	7,25	1,47	1,17	2,06	3,13	0,53
Z-3	2,05	6,24	11,74	2,30	1,99	4,59	7,81	1,48
Z-4	2,00	5,52	10,68	2,28	1,46	2,67	4,01	0,89
Z-5	1,12	2,96	4,55	0,93	1,05	1,61	2,38	0,48
Z-6	0,93	3,03	5,89	1,38	0,57	1,27	2,24	0,48
Z-7	1,80	4,67	8,96	1,69	0,73	1,71	3,12	0,72
Z-8	1,79	4,93	9,10	2,28	1,05	2,23	3,75	0,74
Z-9	2,55	4,54	7,12	1,17	2,10	2,92	4,18	0,56
Z-10	0,99	3,79	7,33	1,70	0,56	1,09	2,09	0,42
<b>Pros.</b>	<b>1,57</b>	<b>4,30</b>	<b>7,91</b>	<b>1,66</b>	<b>1,09</b>	<b>2,10</b>	<b>3,43</b>	<b>0,67</b>
D-11	0,95	2,33	4,22	0,78	0,34	1,23	2,41	0,58
D-12	1,02	4,52	14,33	3,55	0,61	1,37	2,82	0,66
D-13	0,54	3,49	12,48	2,35	0,31	0,78	1,26	0,31
D-14	0,52	2,30	4,25	0,85	1,14	2,24	3,18	0,55
D-15	1,11	3,97	6,99	1,61	0,19	1,47	2,80	0,87
D-16	1,14	4,26	10,72	2,20	0,68	1,35	3,38	0,70
D-17	1,09	3,20	6,09	1,23	0,47	1,29	3,35	0,89
D-18	0,36	4,31	12,56	3,54	0,20	0,55	1,08	0,28
D-19	0,30	1,76	3,93	0,83	0,24	0,73	1,34	0,30
D-20	0,62	2,23	4,31	0,96	0,25	0,83	1,74	0,40
<b>Pros.</b>	<b>0,77</b>	<b>3,24</b>	<b>7,99</b>	<b>1,79</b>	<b>0,44</b>	<b>1,18</b>	<b>2,34</b>	<b>0,55</b>
JD-21	0,86	2,79	6,24	1,19	0,37	1,13	2,12	0,50
JD-22	1,26	2,70	4,23	0,68	0,99	1,83	2,51	0,52
JD-23	1,15	2,93	5,17	1,08	1,25	3,10	4,61	0,89
JD-24	0,81	2,41	5,05	1,17	0,31	0,73	1,46	0,38
JD-25	1,24	4,03	7,35	1,57	1,20	2,76	4,42	0,86
JD-26	2,22	6,27	13,29	3,07	1,19	2,28	3,94	0,79
JD-27	0,74	3,93	9,66	2,52	0,39	0,77	1,39	0,28
JD-28	0,96	4,92	14,55	3,52	0,25	1,35	2,61	0,74
JD-29	2,50	8,27	18,17	3,73	1,30	3,32	6,81	1,85
JD-30	1,34	2,94	4,97	0,89	0,63	1,37	1,84	0,40
<b>Pros.</b>	<b>1,31</b>	<b>4,12</b>	<b>8,87</b>	<b>1,94</b>	<b>0,79</b>	<b>1,86</b>	<b>3,17</b>	<b>0,72</b>

Prosečna veličina debljinskog prirasta kod zdravih, devitalizovanih i jako devitalizovanih stabla (prosek za sva stabla date kategorije) iznosi 4,30 mm, 3,24 mm i 4,12 mm. Maksimalna širina debljinskog prirasta kod zdravih stabala iznosi 11,74 mm,

kod devitalizovanih 14,33 mm, a kod jako devitalizovanih 18,17 mm. Standardna devijacija ima slične prosečne iznose za sve tri grupe vitalnosti, tako da kod zdravih ovaj parametar iznosi 1,66, kod devitalizovanih 1,79 i kod jako devitalizovanih 1,94.



**Slika 1.** Linije debljinskog prirasta zdravih (Z), devitalizovanih (D) i jako devitalizovanih stabala (JD) / **Figure 1.** Diameter increment curves of healthy (Z), devitalized (D) and severely devitalized trees (JD)

Kako se može uočiti sa grafikona 1, u pogledu forme i maksimuma, nema izrazitijih razlika u linijama prirasta analiziranih grupa. Linije tekućeg prirasta imaju oblik koji odgovara klasičnom tipu rasta (Stajić & Vučković, 2016). Nakon rane kulminacije, veličine prirasta se permanentno smanjuju i nije evidentirano prisustvo jako izraženih ekstremnih vrednosti ili naglih promena u veličinama prirasta, što omogućava prilično efikasno i jednostavno “uklapanje” eksponencijalne funkcije u empirijske veličine debljinskog prirasta.

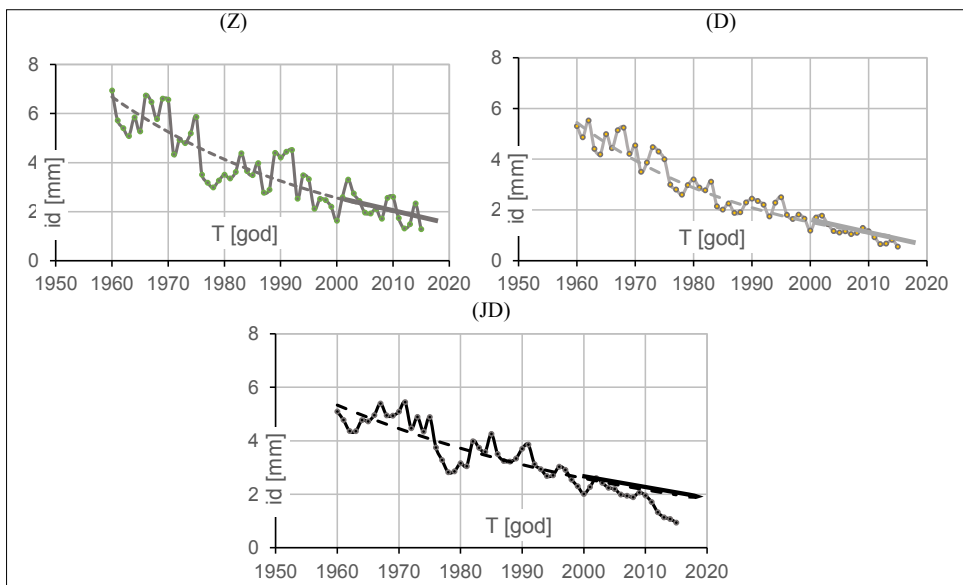
#### Indeksi debljinskog prirasta / Diameter increment indices

U cilju utvrđivanja indeksa debljinskog prirasta i stvaranja “osnove” za obračun gubitaka u prirastu stabala iz kategorije devitalizovanih i jako devitalizovanih, za sve tri kategorije stabala izvršeno je izravnavanje posebnih empirijskih vrednosti debljinskog prirasta u referentnom periodu (koji je označen kao period u kojem su tokovi debljinskog prirasta bili “normalni”) eksponencijalnim funkcijama, a grafički prikazi predstavljeni su isprekidanim linijama (Slika 2).

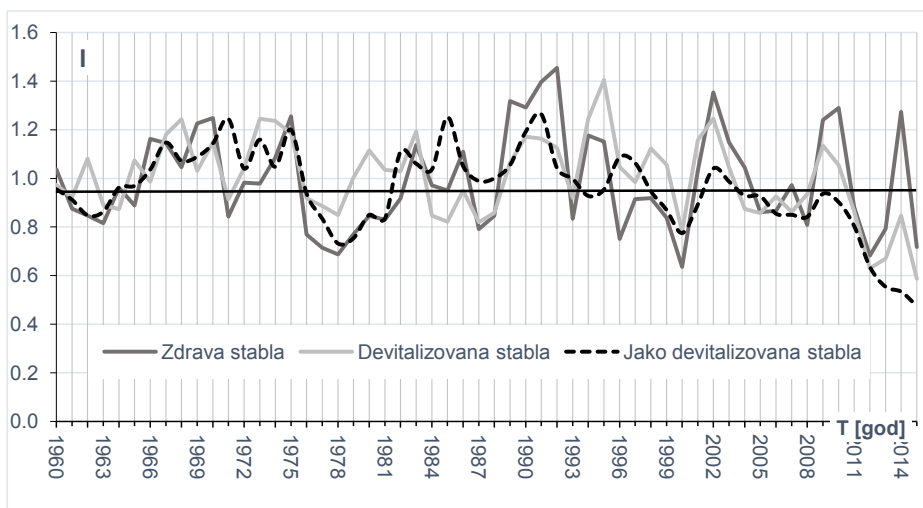
Veličine  $R^2$  se mogu okarakterisati kao visoke i iznose od 0,674 (zdrava), 0,711 (jako devitalizovana) do 0,878 (devitalizovana). Nakon toga je, na bazi utvrđenih regresionih jednačina, izvršena ekstrapolacija krivih u narednim godinama, odnosno u godinama nakon referentnog perioda (pune linije) – Slika 2.

Zatim su, stavljanjem u odnos prosečnih i izravnatih veličina debljinskog prirasta, formirani indeksi debljinskog prirasta (I) za svaku kategoriju stabala. Krive indeksa debljinskog prirasta su za stabla sve tri kategorije vitalnosti prikazane na Slici 3. Uprosečavanjem i indeksiranjem su isključeni uticaji starosti i stanišnih razlika na prirast analiziranih stabala.

Na osnovu dobijenih rezultata može se uočiti da jasna i izražena odstupanja tokova debljinskog prirasta (indeksa debljinskog prirasta) devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala od tokova prirasta zdravih stabala postoje od 2008. godine. U suštini, razlike u tokovima prirasta ovih kategorija stabala počinju da se pojavljuju još od 2000. godine.



**Slika 2.** Prosečni iznosi debljinskog prirasta i linije izravnavanja za analizirane kategorije stabla / **Figure 2.** The average diameter increment values and fitted curves per analyzed categories of trees



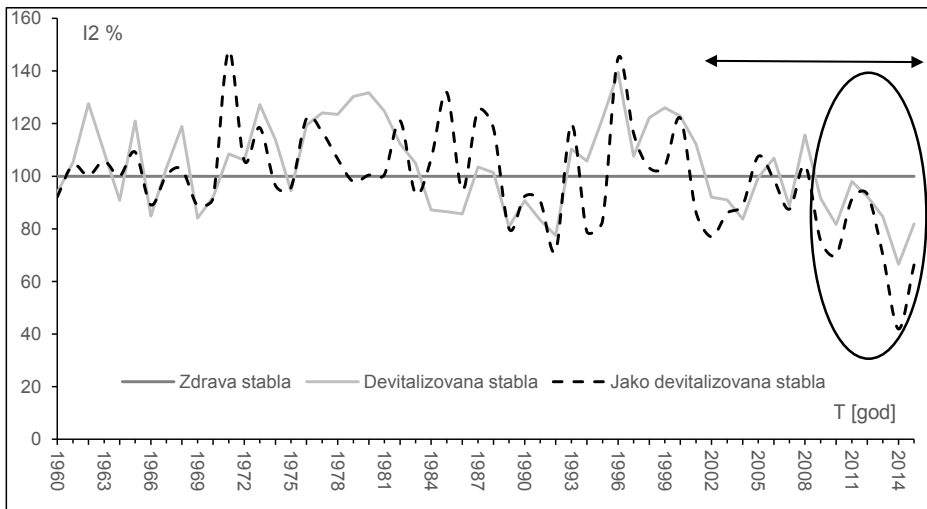
**Slika 3.** Indeksi debljinskog prirasta za zdrava, devitalizovana i jako devitalizovana stabla / **Figure 3.** Diameter increment indices of healthy, devitalized and severely devitalized trees

**Kvantifikovanje gubitaka u prirastu / Quantifying the diameter loss**

Na Slici 4 prikazane su krive dvostrukih indeksa ( $I_2$  [%]), dobijenih stavljanjem u odnos indeksa debljinskog prirasta jako devitalizovanih stabala i devitalizovanih stabala, sa jedne strane i indeksa zdravih stabala, sa druge strane. Evident-

no je da u intervalu između 2008. i 2015. godine postoje vidne razlike u iznosima debljinskog prirasta, kojeg ostvaruju stabla različitih klasa vitalnosti. U ovom periodu, jako devitalizovana stabla prosečno ostvaruju 72,6% debljinskog prirasta zdravih stabala, dok je kod devitalizovanih ovaj procenat nešto veći i iznosi 85,2%.





**Slika 4.** Dvostruki indeksi debljinskog prirasta po analiziranim grupama stabala / **Figure 4.** Double diameter indices per analyzed groups of trees

#### 4. DISKUSIJA / DISCUSSION

Efekti sušenja stabala u drugoj deceniji 21. veka u Srbiji su uočeni i u lišćarskim i u četinarskim šumama. Ipak, simptomi pojave sušenja zabeleženi su najčešće kod četinarskih stabala. Imajući u vidu da crni bor predstavlja jednu od najzastupljenijih vrsta četinarara u Srbiji, istraživanje početka devitalizacije i sušenja stabala ove vrste drveća je od velikog značaja u cilju rane detekcije ovog procesa i minimiziranja posledica ovakvih dešavanja.

Hipotetički "optimalnu" vitalnost stabala nije, na žalost, moguće utvrditi i ista je nepoznata, dok je minimalnu (sušenje i "smrt" stabla) često moguće jasno identifikovati (Dobbertin, 2005). Stoga ovaj autor napominje da je moguće utvrditi samo promene indikatora vitalnosti stabala. Jedan od najznačajnijih i najupotrebljivijih indikatora vitalnosti stabala su karakteristike njihovog rasta i prirasta.

Imajući u vidu da se pod vitalnošću stabala može smatrati sposobnost stabala da rastu pod dejstvom prisutnih uslova za rast (Shigo, 1990), važan segment u okviru istraživanja vitalnosti stabala i sastojina odnosi se na proučavanja uticaja promena uslova sredine, sa jedne strane i efekata tih promena na rast i prirast šumskih stabala i sas-

tojina, sa druge strane. U tom smislu treba napomenuti da je opšte poznata činjenica da rast i razvoj stabala zavise od niza spoljašnjih faktora, odnosno životne sredine koja ga okružuje - različitih biotičkih i abiotičkih uticaja. Osnovne grupe faktore, koje opredeljuju rast i razvoj stabala, se mogu podeliti na: klimatske, edafske, orografske, biotičke i antropogene. Ovi faktori deluju često i kompleksno, međusobno interaktivno, često se dopunjuju, zamenjuju, jačaju ili slabe dejstvo drugih faktora. U našoj zemlji, stanišni faktori su u velikoj meri dobro analizirani i utvrđeni, dok istraživanjima prirasta sa navedenih aspekata, šumarska operativa i donosioci odluka na različitim nivoima posvećuju, ipak, nedovoljnu pažnju, imajući u vidu da se prirast i njegovi tokovi, kako je to već naznačeno, mogu smatrati najpouzdanijim bioindikatorom intenziteta delovanja stimulativnih i ometajućih faktora na stabla i šumske sastojine. Takav pristup, prema Vučkoviću (1994) i Stajiću (2010), nije u skladu sa postojećim prilazima ovom problemu u savremenom evropskom šumarstvu.

Promene prirasta stabala, izazvane promenama pojedinih faktora rasta, najčešće se posmatraju na debljinskom (radijalnom) prirastu, koji veoma



intenzivno reaguje na varijacije ovih faktora. Detaljna analiza promena debljinskog prirasta na nizu objekata pokazala je da se procesi devitalizacije često mogu uočiti na prirastu stabala i nekoliko godina (ili čak decenija) pre pojave okularno vidljivih simptoma devitalizacije stabala (Vučković, 1993; Vučković & Stamenković 1995; Vučković et al., 2008 itd.). U tu svrhu, Stamenković & Vučković (2000) napominju da je neophodno napustiti stav da sušenje šuma počinje u fazi njihovog vidljivog propadanja, kada su po pravilu zahvaćene prenamnoženjem štetnih insekata i brojnim oboljenjima. Pomenuti autori dalje konstatuju da je *“... umesto toga potrebno pristupiti metodima detekcije, koji će ovu pojavu otkrivati mnogo ranije, čime će se otvoriti mogućnost za širik spektar stručnog rada koji će u zavisnosti od stanja sastojina, merama nege zaštite ili obnove doprineti sprečavanju ili bar znatnom umanjenju potencijalnih šteta...”*.

Ovakva i slična iskustva potvrđena su i rezultatima ovde provedenih istraživanja “karaktera” debljinskog prirasta stabala crnog bora na području Despotovca. Najpre, dobijeni rezultati pokazali su da kod sve tri kategorije stabala (zdrava, devitalizovana i jako devitalizovana) u periodu od 1960. do 2000. godine postoje varijacije u veličinama indeksa debljinskog prirasta i preklapanja linija njihovih tokova, koje se mogu označiti kao slučajne i očekivane. Na ovakvo rezonovanje upućuju nas i utvrđene prosečne veličine debljinskog prirasta u pomenutom periodu za tri grupe analiziranih stabala prema vitalnosti. Naime, utvrđene veličine po kategorijama su približno slične (4,30 mm – zdrava stabla, 3,24 mm - devitalizovana stabla i 4,12 mm – jako devitalizovana stabla). Da se radi o varijacijama u prirastu, izazvanim slučajnim faktorima, može potvrditi i uočena “nelogičnost”, da je prosečna veličina prirasta devitalizovanih stabala u ovom periodu manja od prosečne veličine prirasta jako devitalizovanih stabala. Naime, sama ta činjenica pokazuje da su čak, u odnosu na ovaj pokazatelj, u periodu od 1960–2000. godina, stabla iz kategorije jako devitalizovanih (utvrđenih na osnovu ocene u 2015. godini), bila “više vitalna” u odnosu na stabla iz kategorije “više vitalnih” - devitalizovanih stabala” (utvrđenih takođe

prema stanju iz 2015. godine). Pored toga, rezultati su pokazali da je, u datom periodu, reakcija svih analiziranih grupa stabala na prisutne stimulativne i ograničavajuće faktore rasta bila manje ili više podjednaka, bez nekih jasnih razlika u “šablonu” reakcije.

Jasna i izražena odstupanja u tokovima prirasta između zdravih stabala, sa jedne strane i devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala, sa druge strane, utvrđena su od 2008. godine. Negativan trend prirasta i izraženi gubici u iznosima prirasta utvrđeni su i kod devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala, s tim da su ove promene kod jako devitalizovanih stabala više izražene, što je bilo i za pretpostaviti. Pa tako, prirast jako devitalizovanih stabala u 2014. godini, na primer, iznosio je nešto manje od 42% ostvarenog prirasta kod zdravih stabala. Takođe, prosečan iznos prirasta grupe devitalizovanih stabala u posmatranoj godini predstavlja samo 67% veličine prirasta zdravih stabala.

Detaljnijim uvidom i analizom tokova prirasta (indeksa prirasta) stabala ove tri grupe može se, ipak, uočiti da, u suštini, razlike u tokovima prirasta ovih kategorija stabala počinju da se pojavljuju još od 2000. godine (Slika 4). Naime, u tom periodu, iako je u nekoliko godina zabeležen i nešto veći relativni prirast (veličina indeksa) kod devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala u odnosu na zdrava, postoji jasno izražen trend umanjenja prirasta kod ove dve grupe stabala u poređenju sa prirastom grupe zdravih stabala. Ova činjenica upućuje na zaključivanje da je proces stvarne devitalizacije stabala počeo i trajao unazad oko 15 godina, kada nije bilo nikakvih okularno vidljivih simptoma.

U kontekstu davanja prognoze o budućim “dešavanjima” u sastojini u svetlu utvrđenog trenda prirasta i karaktera uočene devitalizacije stabala treba biti naznačeno da se, u slučaju prepuštanja sastojine dosadašnjem načinu gazdovanja, uz uglavnom provođenje sanitarnih seča, može očekivati dalje napredovanje nepovoljnih razvojnih tokova, ubrazanje procesa odumiranja stabala i sušenje celokupne sastojine, što bi dovelo do ugrožavanja opšte funkcionalnosti sastojine.

Provedena istraživanja i analize pokazuju da postoje brojni jaki razlozi za monitoring vitalnosti šuma i prognozu njihovog budućeg razvoja. Aktivnosti na monitoringu treba da su kompleksne i stalne,

pri čemu je potrebno obuhvatiti tipične prirodne i privredne objekte, a posebno one za koje već postoje indicije da su sklone narušavanju prirodne ravnoteže i devitalizaciji (Vučković et al., 2005).

## 5. ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Sušenje šuma na velikim površinama dovodi do ugrožavanja mogućnosti za obezbeđenje potreba i zahteva društva prema šumi i svim njenim funkcijama, ali i do ugrožavanja opstanka šuma u pojedinim područjima. Ugrožavanje je tako radikalno da savremeno šumarstvo i planiranje gazdovanja šumama ne mogu ostati nepromenjeni (Tomanić, 1990; Medarević et al., 2009).

Dobijeni rezultati u okviru ovih istraživanja pokazali su da su na analiziranom objektu već više godina unazad postojali "skriveni signali" devitalizacije stabala, koji nisu mogli biti okularno vidljivi kao što je to bilo u momentu prikupljanja podataka (2015. godina). Međutim, ovi "skriveni" znaci devitalizacije jasno su uočeni analizom razlika u trendovima prirasta grupe zdravih stabala, sa jedne strane i prirasta grupe devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala, sa druge strane. Posebno je proces jačeg odstupanja prirasta grupe devitalizovanih i jako devitalizovanih stabala od "očekivanih", odnosno "normalnih"

tokova prirasta, koji su ovde označeni kao tokovi prirasta zdravih stabala, bio izražen od 2008. godine. U suštini, utvrđeno je da su razlike u tokovima prirasta analiziranih kategorija stabala počele da se pojavljuju još od 2000. godine, što praktično znači da je proces stvarne devitalizacije stabala počeo 15 godina ranije pre pojave bilo kakvih vidljivih simptoma.

Rezultati istraživanja potvrdili su poznatu činjenicu da su istraživanja tokova debljinskog prirasta ("trends prirasta") vrlo prikladna za rano otkrivanje početka procesa intenzivnijeg umanjavanja prirasta i devitalizacije stabala. Stoga, u okviru širokog spektra moguće aplikacije rezultata istraživanja rasta, prirasta i proizvodnosti šumskih stabala i sastojina, istraživanjima stvarnog prirasta i očekivanih - "normalnih" tokova prirasta, analizama odstupanja stvarnog od očekivanog prirasta i uzroka koji dovode do ometanja očekivanih tokova prirasta stabala i sastojina, pripada specifično mesto u okviru održivog gazdovanja šumama.

## Zahvala / Acknowledgement

Rad je realizovan u okviru projekta: "Šumski zasedi u funkciji povećanja pošumljenosti Srbije", koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i

tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru programa tehnološki razvoj za period 2011–2014. godine.

## Literatura / References

- Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N., Šljukić B., Obradović S. (2009). Šumski fond Republike Srbije - Stanje i problemi. *Glasnik Šumarskog fakulteta u Beogradu* 100: 7–30.
- Bigler C, Bugmann H. (2003). Growth-dependent tree mortality models based on tree rings. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 210–221.
- Bigler C, Bugmann H (2004) Predicting the time of tree death using dendrochronological data. *Ecological Applications* 14: 902–914.
- Dimitrijević S. (2016). *Karakteristike debljinskog prirasta crnog bora (Pinus nigra J. F. Arnold) na području Despotovca*. Master rad: 33 str.
- Dobbertin M. (2005). Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research* 124: 319–333.
- Dukić V., Maunaga Z. (2007): Diameter increment as bioindicator of ripe sessile-flowered oak stands vitality. U: *Proceedings-International Scientific*

- Conference: *Integral protection of forests, Scientific-Technological platform*, Belgrade: 238–242.
- Dukić, V., Maunaga Z. (2009): Primjena bioindikacije vitalnosti šuma u monitoringu stanja šuma i životne sredine. U: *Zbornik radova naučno-stručnog skup sa međunarodnim učešćem "Zaštita i zdravlje na radu i zaštita životne sredine"*, Banja Luka: 463–469.
- Eichorn Th. (1986). Wachstumsanalysen an Fichten in Südwestdeutschland. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 157(7): 125–139.
- Fritts H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. The Blackburn Press: 567 str.
- Gerecke K. L. (1989). "Tanensterben" und "Neuartige Waldschäden" – Ein Beitrag aus der Sicht der Waldwachstumkunde. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 161(5): 81–96.
- Linares J. C., Camarero J. J. (2010). Growth patterns and sensitivity to climate predict silver fir decline in the Spanish Pyrenees. *European Journal of Forest Research* DOI 10.1007/s10342-011-0572-7.
- Loch A. D., Matsuki M. (2010). Effects of defoliation by *Eucalyptus weevil*, *Gonipterus scutellatus*, and chrysomelid beetles on growth of *Eucalyptus globulus* in southwestern Australia. *Forest Ecology and Management* 260: 1324–1332
- Medarević M., Banković S., Cvetković Đ, Abjanović Z. (2009). Problem sušenja šuma u Gornjem Sremu. *Šumarstvo* 3–4: 61–73.
- Pollanschütz J. (1971). *Methoden zur Erkennung und Beurteilung forstschädlicher Luftverunreinigungen*. Mitteil. der Forsttl. Bund. Versusanst., Wien 92: 206 str.
- Pranjić A., Lukić N. (1988). Prirast stabala kao indikator stanišnih promjena. *Glasnik za šumarske pokuse* 25: 79–94.
- Pretzsch H. (1989). Zur Zuwachs-Reaktionskinetik der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf in der Oberpfalz. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 160(2/3): 43–54.
- Röhle H. (1987). *Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassensstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluss der neuartigen Walderkrankungen*. Forstl. Forschungsberichte. Muenchen 83: 122 str.
- Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O. U. (1990). Identification, presentation and interpretation of event years in Dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9–38.
- Shigo A. L. (1990). *Die neue Baumbiologie*. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig: 606 str.
- Stajić B. (2010): *Karakteristike strukture sastojina i rasta stabla u mešovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na području Nacionalnog parka „Đerdap“*. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Beograd: 331 str.
- Stajić B., Vučković, M., Janjatović Ž. (2014). Dendrohronološka istraživanja u veštački podignutoj sastojini hrasta kitnjaka na području Fruške gore. *Glasnik Šumarskog fakulteta u Beogradu* 109: 149–168.
- Stajić B., Vučković M. (2016). *Rast i proizvodnost šuma – Praktikum*. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet: 147 str.
- Stajić B. (2014). Karakteristične godine u rastu stabala bukve na području NP "Đerdap". *Glasnik Šumarskog fakulteta u Beogradu* 110: 175–188.
- Stamenković M., Vučković M. (1988). Prirast stabala hrasta kitnjaka *Quercus petraea* kao pokazatelj stepena oboljenja – sušenja. *Šumarstvo* 1: 47–55.
- Tomić Z., Rakonjac LJ. (2011): Survey of syntaxa of forest and shrub vegetations of Serbia. *Folia Biologica et Geologica* 52(1–2): 111–140.
- Tomanic L. (1990). Uticaj sušenja šuma na mogućnost obezbeđenja društvenih potreba u Srbiji. *Šumarstvo* 2–3: 95–100.
- Vinš B. (1962). Die Auswertung jahrringchronologischer Untersuchungen in rauchgeschädigten Fichtenwäldern des Erzgebirges. *Wiss. Zeitschr. D. Tech. Uni. Dresden*, 11 (3).
- Vučković M. (1993). Stvarna, a ne očekivana produkcija, osnov za planiranje u šumarstvu i preradi drveta. *Šumarstvo* 3–5: 77–86.
- Vučković M. (1993/1994): Problem devitalizacije šuma sa aspekta istraživanja prirasta stabala. *Glasnik Šumarskog fakulteta u Beogradu* 75–76: 101–110.
- Vučković M., Stamenković V. (1991). Uticaj klimatskih ekstremuma na prirast i vitalnost stabala i šumskih sastojina. *Glasnik Šumarskog fakulteta u Beogradu* 73: 439–448.
- Vučković M., Ratknić M., Stamenković V. (1998). Opažanje prirasta šumskog drveća kao bioindikatora delovanja antropogenih i ekoloških faktora. *Zbornik radova Instituta za šumarstvo u Beogradu* 42–43: 71–77.
- Vučković M., Stamenković V. (2000). Zadaci u oblasti istraživanja uslova za povećanje prirasta i iskorišćenja dendromase sa stanovišta savremenog šumarstva - Ekološki aspekt privredne funkcije šuma. *Glasnik Šumarskog fakulteta u Beogradu* 82: 51–58.

- Vučković M, Stajić B. (2003). Uticaj promena klime na rast i vitalnost šuma. U: *Međunarodna konferencija "Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja. Novi Sad: 227–232.*
- Vučković M., Stajić B., Radaković N. (2005). Značaj monitoringa debljinskog prirasta sa aspekta bioindikacije vitalnosti stabala i sastojina. *Šumarstvo 1–2: 1–10.*
- Vučković M., Stajić B., Smiljanić M. (2008). Elementi izgrađenosti i rasta sastojine crnog bora na staništu sladuna i cera. *Šumarstvo 4: 31–41.*

## Summary

The research of the process of tree devitalization and decline was carried out in an artificially-established Austrian pine stand in the area of Despotovac in Serbia. A diameter increment of 30 dominant trees classified on the basis of ocular assessment of the intensity of devitalization into the following three categories: healthy (with no obvious visual symptoms of decline), devitalized (with sparse crowns and noticeable but not developed symptoms of decline) and severely devitalized trees (trees with most of the crown dead) was studied.

The stem discs for the analysis of their diameter increment were cutted at the breast height (1.3 m) in the field. In order to eliminate the influence of age on diameter increment and to facilitate mutual comparison of the obtained increment values we produced diameter increment indices for all three categories of the trees. These indices are performed as a ratio between the empirical and the fitted values of diameter increment (obtained using the appropriate regression equations) for each year of measurement. Having calculated these indices, double indices - I<sub>2</sub> [%] were further determined in order to provide a quantitative estimate of the observed devitalization and determine the loss in the increment of devitalized and severely devitalized trees. We obtained these indices as a ratio of the diameter increment index of devitalized and severely devitalized trees to the diameter increment index of healthy trees, multiplied by 100 to obtain a percentage value.

The results obtained for all three categories of trees (healthy, devitalized and severely devitalized) reveal variations in the values of diameter increment indices as well as overlapping of their flow lines for the period from 1960 to 2000. These variations can be characterized as random and anticipated. This conclusion could be supported by the average values of diameter increment obtained in the stated period for the three groups of trees whose vitality was studied. In fact, the obtained values are roughly similar (4.30 mm - healthy trees, 3.24 mm - devitalized tree and 4.12 mm – severely devitalized trees). The assumption that the variations in diameter increment were caused by random factors is further supported by the observed 'illogical' results showing that the average increment of devitalized trees was in this period lesser than the average increment of severely devitalized trees. This fact indicates that with regard to this indicator, the trees in the category of severely devitalized trees (defined as severely devitalized on the basis of the assessments taken in 2015) were in the period from 1960 to 2000 'more vital' than the trees in the category of devitalized trees (also determined according to the state in 2015). The results also show that all the analyzed groups of trees had approximately the same responses both to the stimulating and to the limiting factors of growth in the given period, with no clear differences in the response 'pattern'.

Clear and marked deviations in the increment flows of devitalized and severely devitalized trees from the increment flows of healthy trees were first recorded in 2008. The negative increment trend and significant losses in the increment values have been determined both in devitalized and heavily devitalized trees, with the changes being more pronounced in severely devitalized trees, which was to be assumed. Thus, in 2014 the increment of this category of trees amounted to slightly less than 42% of the increment achieved by healthy trees. Also, the average increment in the group of devitalized trees in this year accounted for only 67% of the increment of healthy trees.

However, a detailed insight and analysis of tree increment flows (increment index) in these three groups reveals that the first differences in the increment flows of these tree categories occurred in 2000. In fact, although there have been several years with a relatively higher increment (index size) of devitalized and severely devitalized compared to healthy trees, there has been a markedly decreasing trend in the increment of these two groups of trees compared to the increment of healthy trees. This fact points to the conclusion that the process of real tree devitalization has been going on for the last 15 years with the visible symptoms appearing only in 2015.

The results of the conducted research and analysis show that there are many strong reasons for monitoring the vitality of forests and predicting their future development. Monitoring activities should be continuous and varied and they must include the most typical natural factors and economic subjects, especially the ones that are allegedly prone to disturb the natural balance and cause devitalization (Vučković et al., 2005). Considering all the above points, it can be concluded that a specific place in the context of sustainable forest management should be placed to the researches of the “real” increment values and anticipated - ‘normal’ increment flows as well as deviations of the real from the expected increment and the causes that disturb the anticipated increment flows of trees and stands.

**Key words:** Austrian pine plantation, bioindicator, diameter increment, forest decline, Serbia, vitality