

NONLINEAR DENDROCHRONOLOGY OF TREE GROWTH AND DEVELOPMENT

NELINEARNA DENDROKRONOLOGIJA RASTA I RAZVOJA STABLA

BEZAK, Karlo

Abstract: Past events are reconstructed using a method of nonlinear dynamic tree analysis and analyses of temporal series. The tools for qualitative and quantitative nonlinear dendrochronology are complex equations of growth and development of diameter structure. Dendrogram dynamics has temporal series identical to that of fractals with features of self-similarity on a time scale. Temporal series of resistance to growth are reconstructed with iterations and coordination of diameter increment. Temporal series of growth resistance coefficient are compared with temporal series of climate changes. Nonlinear dendrochronology is a method used to accurately measure changes in the increment resulting from biotic or abiotic excesses.

Key words: nonlinear dynamics, dendrochronology, temporal series

Sažetak: Metodom nelinearne dinamičke analize stabla i analizama vremenskih serija rekonstruiraju se zbivanja u prošlosti. Alati za kvalitativnu i kvantitativnu nelinearnu dendrokronologiju su kompleksne jednačbe rasta i razvoja debljinske strukture. Dinamika dendrograma ima vremensku seriju poput fraktala sa svojstvima samosličnosti na vremenskoj skali. Iteracijama i usklađivanjem debljinskog prirasta rekonstruiraju se vremenske serije otpora rastu. Vremenske serije koeficijenta otpora rastu uspoređuju se s vremenskim serijama klimatskih promjena. Nelinearna dendrokronologija je metoda kojom se mogu precizno izmjeriti promjene prirasta zbog biotičkih ili abiotičkih ekscesa.

Ključne riječi: nelinearna dinamika, dendrokronologija, vremenske serije



Authors' data: Karlo, **Bezak**, dr.sc., Hrvatsko šumarsko društvo, Zagreb, karlo.bezak@gmail.com

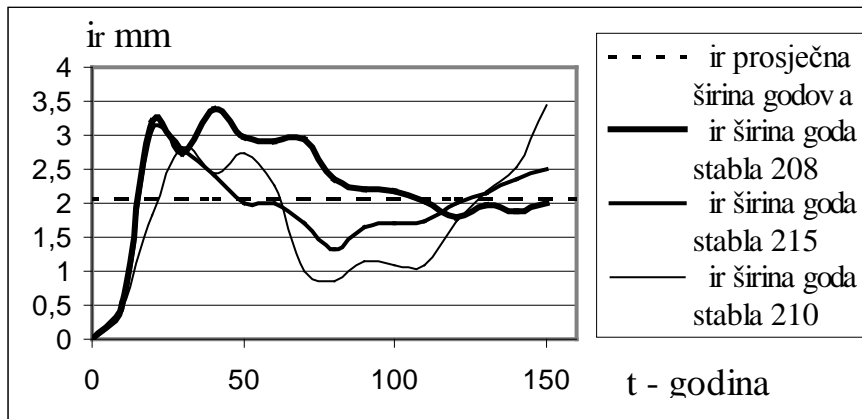
1. Uvod

Dendrokronologija je znanstvena disciplina u šumarstvu koja svojim metodama koristeći se analizama vremenskih serija određuje zbivanja u prošlosti i rekonstruiraju prirodne pojave koje utječu na produktivnost šumskog ekosustava. Dendrokronološke metode se primjenjuju za određivanje datuma zbivanja nekih događaja u prošlosti te rekonstruiranje prirodnih pojava i procesa koji utječu na produktivnost i dinamiku šumskog ekosustava [1]. Kod vrsta drveća umjerene zone mogu se pratiti promjene rasta i prirasta stabala. Na osnovi širine godova u prošlosti mogu se ustanoviti periodi klimatskih promjena, kao i godine stresnih pojava svakog stabla [2]. Stablo se razvija pod utjecajem združenih čimbenika čiji utjecaji mogu biti kumulirajući, antagonistički ili pak sinergični, a registrirani su kumulativno u širini goda. Međuovisnost svih životnih procesa bit je svih ekoloških odnosa. Razumjeti ekološku međuovisnost znači razumjeti odnose. To zahtjeva pomak u percepciji, koji je karakterističan za sustavno poimanje. Najbolji podaci za istraživanje zakonitosti promjena u šumskim ekosustavima dobivaju se kontinuiranom izmjerom na trajnim pokusnim plohama. Međutim, kada nismo u mogućnosti obaviti takve izmjere, tada se služimo analizom rasta i prirasta stabala.

2. Linearna dendrokronologija stabla

Uvid u razvojni tijek rasta stabla od ponika do fiziološke starosti dobiva se totalnom analizom stabla. Pod rastom stabla podrazumijeva se biološki fenomen povećanja dimenzija tijekom vremena, a pod prirastom povećanje dimenzija stabla u određenom vremenskom intervalu. Kako stablo raste povećavaju se i njegove dimenzije. To povećanje stabla u određenom vremenskom intervalu (10 godina) zovemo prirastom. Brojanjem godova utvrđujemo starost stabla iznad prereza. Analizom širine godova na prsnoj visini proučavamo razvojni tijek stabla od ponika pa sve do godine sječe. Za nelinearnu dendrokronologiju poslužile su mi analize triju najstarijih stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), posječena dovršnom sječom 1997. godine, u odjelu 67 gospodarske jedinice Česma. Sva tri stabla rasla su u ekološko-gospodarskom tipu II-G-10 i bila su stara 150 godina. Stablo broj 208 postiglo je prsni promjer bez kore 70.12 cm, stablo broj 215 prsni promjer 59.65 cm, stablo broj 210 prsni promjer 55.25 cm, a prosječno srednje stablo bez kore 61.67 cm. Prosječna širina godova stabla broj 208 bila je 2.338 mm, stabla 215 – 1.988 mm, stabla broj 210 – 1.842 mm, a prosječna širina godova za sva tri stabla iznosila je 2.056 mm. Razvidne su oscilacije širine godova na Slici 1, prva kulminacija prirasta kod mladih stabala, pad kod srednjedobnih i povećanje širine godova kod starijih stabala. U pojedinim starosnim razdobljima dolazi prirodno do oscilacija debljinskog prirasta sukladno dinamici rasta svake vrste drveća. Kod hrasta lužnjaka period maksimalnih amplituda širine godova je 100 godina, prva kulminacija oko 20. godine, pad oko 70. godine i druga kulminacija oko 120. godine starosti sastojine. U linearnoj dendrokronologiji, vremenske serije klimatskih promjena uspoređuju se s prosječnim prirastom. Aksiom u biotehničkoj znanosti je jedna kulminacija prirasta i dvije točke infleksije, a potom

se prirast asimptotski približava apcisnoj osi. Nelinearna dinamika rasta i prirasta stabla pobija linearni aksiom u biotehničkoj znanosti.



Slika 1. Razvojni tijek širine godova analiziranih stabala hrasta lužnjaka

Interpretacijom događanja klimatskih promjena u prošlosti i biotičkih ili abiotičkih ekscesa u ekosustavima linearnim modelom može se doći do pogrešnih zaključaka.

3. Nelinearna dendrokronologija rasta i razvoja stabla

Kvalitativni alat za kvantitativnu, numeričku nelinearnu dendrokronologiju debljinskog rasta je kompleksna jednadžba rasta i razvoja debljinske strukture [3]:

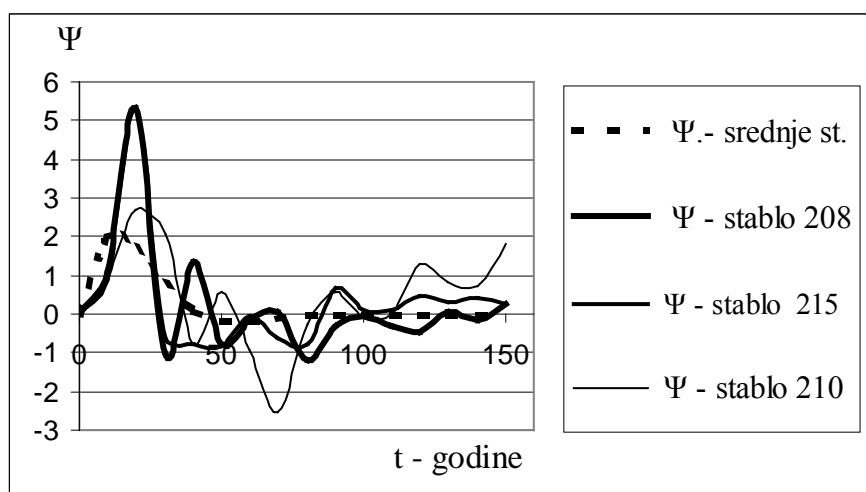
$$\Psi_d = A e^{-kt} \sin(\omega_d t - \varphi) \quad (1)$$

Simboli u jednadžbi su: Ψ_d – kompleksni brojevi debljinskog rasta; A_d – valna amplituda debljinskog rasta; $e = 2.718$ – baza prirodnog logaritma; k – koeficijent otpora rastu; t – vrijeme; ω_d – koeficijent pulsacije debljinskog rasta; φ – fazni prostor rasta. Jednadžba (2) sadrži sve parametre potrebne za detekciju brzine debljinskog rasta, dijagnozu disipativne strukture, nelinearnu dendrokronologiju i prognozu budućeg razvoja debljinskog rasta hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.):

$$\Psi_d = 5.328 e^{-kt} \sin(0.0729927 t - 0.001) \quad (2)$$

Koeficijent otpora rastu k jedini je nelinearni član u jednadžbi. Iteracijama se usklađuje brzina rasta modela s brzinom rasta svakog stabla ili sastojine. Iteracijama k u intervalima $0 \rightarrow 1$ detektiramo brzinu rasta i stanje stabilnosti stabla ili sastojine. Vrijednosti koeficijenta otpora rastu $k < 0.027$ indicira približno harmonično stanje, a otpor rastu između $0.27 < 0.045$ indicira ravnotežno ili stabilno stanje. Otpor rastu k između $0.045 < 0.055$ indicira periodično stanje. Sastojine s otporom rastu k u rasponu $0.055 < 0.073$ su u neperiodičnom i nestabilnom stanju, a sastojine s otporom rastu $k > 0.073$ su u kaotičnom stanju. Otpor rastu $k = 0.05$ prag je stabilnosti šuma. U periodičnom sustavu varijabla nakon protoka čvrsto određenog vremenskog intervala točno ponavlja svoje prethodno ponašanje. Nestabilno ponašanje je ono kod

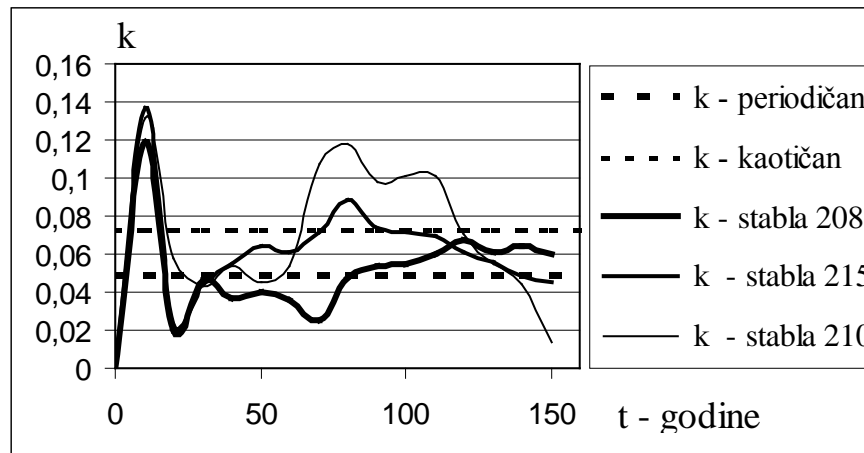
kojeg je za prijelaz između periodičnog i neperiodičnog stanja potrebna vrlo mala promjena u sustavu. To znači i vrlo veliku osjetljivost o početnim uvjetima. Nadalje, neperiodično ponašanje označava kako nijedan parametar sustava ne mijenja vrijednost periodično. To znači da se vrijednosti prirasta ne ponavljaju u potpunosti. Kaotično ponašanje nastaje kada šuma nema dovoljno energije za opstanak i dolazi do spontane uređenosti, nelinearnog povratnog učinka (feedback effects), što će reći sušenja [4]. Iteracijama otpora rastu k numerički se obrađuje svako stablo ili srednje sastojinsko stablo. Rješenja kompleksnih jednadžbi su kompleksni brojevi, topološka dimenzija stabla. Skupovi kompleksnih brojeva fraktalna su dimenzija stabla. To su dendrogrami u kojima okomiti smjerovi prikazuju amplitude ili multidimenzionalne vektore, a vodoravni smjerovi prikazuju prostor i vrijeme. Dendrogram za srednje stablo dobiven jednadžbom (2) uz otpor debljinskom rastu $k = 0.05668$ pokazuje (Slika 2) jednu prigušenu sinusoidu neperiodičnog stanja. Dendrogrami za stabla 208, 215 i 210 su druga derivacija debljinskog rasta koje pokazuju čudne oscilirajuće sinusoidne trajektorije. Stablo 208 s prosječnim otporom $k = 0.04783$ imalo je stabilan i periodičan rast, stablo 215 s prosječnim otporom $k = 0.05891$ imalo je nestabilan i neperiodičan rast, a stablo 210 s prosječnim otporom $k = 0.06777$ imalo je neperiodičan rast, na rubu kaotičnog stanja.



Slika 2. Dendrogrami analiziranih stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

Dinamika dendrograma ima vremensku seriju poput fraktala sa svojstvima samosličnosti na vremenskoj skali. Iteracijama i usklađivanjem debljinskog prirasta rekonstruiraju se vremenske serije otpora rastu. Iteracijama otpora rastu k obavlja se dijagnoza stanja stabilnosti u prostoru i vremenu. Na Slici 3 prikazane su vremenske serije otpora debljinskom rastu i njihov odnos prema periodičnom, neperiodičnom i kaotičnom stanju. Za sva tri stabla u dobi oko prve kulminacije prirasta su početni uvjeti (butterfly effect) o kojem ovisi daljnji razvoj događanja u šumi. Infinitezimalno male promjene na početku mogu dovesti do velikih promjena na kraju. To se ponašanje opisuje kao obilježje kaosa. Stablo broj 208. poslije prve kulminacije debljinskog prirasta prolazi period stabilnog stanja, a poslije 70. godine ulazi u period nestabilnog stanja. Stablo 215 poslije 60. godine prolazi period neperiodičnog rasta, u 90. godini ulazi u kaotično stanje, a poslije 130. godine stanje se stabiliziralo. Stablo

210 već poslije 50. godine ulazi u kaotično stanje, a poslije 120. godine stanje se stabiliziralo. Za sva tri stabla stresno razdoblje njihovog razvojnog tijeka započelo je u 70. godini starosti sastojine, a poslije 110. godine započelo je razdoblje stabilizacije. Rekonstrukcija događanja u šumi za vremensko razdoblje (1920–1950) trebala bi dati odgovor za nestabilno i kaotično ponašanje u rastu i razvoju analiziranih stabala hrasta lužnjaka.



Slika 3. Vremenske serije otpora debljinskom rastu analiziranih stabala hrasta lužnjaka

4. Zaključak

Kompleksna jednadžba debljinske strukture kvalitativni je model za kvantitativnu numeričku nelinearnu dendrokronologiju rasta i razvoja šuma. Metodama nelinearne dinamičke analize mogu se spoznati male promjene u samo jednom parametru koji može prebaciti inače stabilan sustav preko bifurkacijske točke u kvalitativno novo ponašanje. Nelinearna dendrokronologija kvalitativna je metoda kojom se mogu precizno izmjeriti promjene prirasta zbog biotičkih ili abiotičkih ekscesa.

5. Literatura

- [1] Pranjić, A. (1996). Dendrokronologija hrasta lužnjaka. *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Klepac, D. (urednik), str. 299-305, Vinkovci - Zagreb.
- [2] Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. ACADEMIC PRESS INC. Library of Congress, ISBN, 0 12 268450 – 8, London, New York, San Francisco
- [3] Bezak, K. (2007). Deterministički kaos u šumama. *DAAAM International Scientific Book 2007*, Katalinic, B. (urednik), str. 483-492, ISBN 3-901509-60-7, ISSN 1726-968, Vienna, Austria
- [4] Bezak, K. (2008). Disipativna struktura šuma. *Zbornik radova sa 1st International Conference «Vallis Aurea» 2008*, Katalinic, B. (urednik) str. 61-67, ISBN, 978-953-98762-7-0, ISBN 978-3-901509-60-5, Požega, 19. rujna 2008. Požega – Beč, Hrvatska – Austrija



Photo 010. The St. Trinity Square in Pozega/ Trg Sv. Trojstva u Požegi