Photo 005. Christening / Krštenje

NONLINEAR DYNAMIC SITE ASSESSMENT

NELINEARNO DINAMIČKO BONITIRANJE STANIŠTA

BEZAK, Karlo

Abstract: *Physicist Mitchell Jay Feigenbaum was the first who proved how chaos is not a mathematically whim, but a universal characteristic of a system with nonlinear feedback effect. He was the first who gave the significant evidence of how chaos exists in nature. By logistic mapping population equations he discovered the evidence, that at the ultimate twigs there must be a mathematical structure which remains the same, when the size changes by a factor of 4.6692016. The ratios of the size of the trunk to the branches, branches to twigs are achieving values closer and closer to the number 4.669, as approaching more closer to the top of the tree. The tools for nonlinear dynamic site assessment are complex equations of diameter and height growth.*

Key words: *nonlinear dynamics, eigenvalue, complex equations, non-linear site assessment*

Sažetak: *Fizičar Mitchell Jay Feigenbaum prvi je dokazao kako kaos nije matematički hir, nego je univerzalno svojstvo sustava s nelinearnim povratnim učinkom. Prvi je dao značajan dokaz o tome kako kaos postoji u prirodi. Logističkim preslikavanjem populacijske jednadžbe otkrio je dokaz kako na krajnjim vršcima stabla mora postojati neka matematička struktura koja ostaje ista kad se veličina mijenja za faktor 4.6692016. Omjeri veličina debla prema granama, grana prema grančicama, dolaze sve bliže i bliže broju 4.669, što se više približavaju vrhu stabla. Alati za nelinearno dinamičko bonitiranje staništa su kompleksne jednadžbe rasta debljinske i visinske strukture.*

Ključne riječi: *nelinearna dinamika, eigen vrijednost, kompleksne jednadžbe, nelinearno bonitiranje staništa*

Authors' data: Karlo **Bezak**, PhD, Retired Senior Scientific Associate, karlo.bezak@gmail.com

1. Uvod

Bonitet staništa odražava se kroz sposobnost neke vrste drveća ili sastojine da na nekom tlu, pri normalnim klimatskim uvjetima i u određenom vremenu postigne određenu visinu i proizvede neki obujam drva po jedinici površine. Prema Pravilniku za uređivanje šuma („Narodne novine broj 11/97), bonitet staništa sastojine određuje se temeljem ukupne proizvodnje drvne mase u dobi najvećeg poprečnog prirasta i utvrđene ophodnje sastojine prema glavnoj vrsti drveća temeljem prirasno-prihodnih tablica. U jednodobnim šumama na osnovi starosti sastojine i srednje sastojinske visine srednje plošnog stabla. Visinske krivulje ustrojavaju se temeljem izmjerenih visina nasumice odabranih stabala tako da se u svakom debljinskom stupnju izmjeri pet do deset visina.[1] Izmjerene visine razvrstavaju se u dobne razrede raspona starosti 20 godina, što iskrivljuje položaj i nagib visinskih krivulja. Konstrukcija dvoulaznih i jednoulaznih volumnih tablica na temelju takvih krivulja ne prati svu dinamiku visinskog rasta i razvoja sastojine. Rezultat je kriva procjena strukture drvne zalihe po dobnim razredima. Dvoulazne tablice i volumeni sastojine obračunavaju se na osnovi prostorno vremenskog pomaka visina i dvoulaznih volumnih tablica.[2] Profesor A. Leváković u svom radu „O izgledima i mogućnostima numeričkog bonitiranja stojbina“ predložio je svoju funkciju rasta i kvocijent parametara a i b.[3] Prema Levakoviću rastenje je nejednolično gibanje kojem se suprostavljaju pogodne i nepogodne sile.[4] Akademik D. Klepac u svojim istraživanjima došao je do zaključka kako se visinska krivulja u mladosti intenzivno pomiče do 70. godine starosti sastojine, usporeno do 120. godine, a potom visinski rast prestaje.[5] Osobna spoznaja, kako je razvojni tijek visinskih krivulja intenzivan u vrijeme prvih kulminacija prirasta, kako su visinske krivulje podjednake u doba druge kulminacije visinskog prirasta, usporene do druge kulminacije debljinskog prirasta, a potom dolazi do inverzije visinskih krivulja. Poslije prvih kulminacija visinskog i debljinskog prirasta, porastom visinskog prirasta pada debljinski prirast i obratno. Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) kozmičko je drvo, ima jediničnu brzinu debljinskog i visinskog rasta.
Cilj je istraživanja: pronaći model i metodu kako kompleksnim jednadžbama debljinske i visinske strukture numerički bonitirati staništa hrasta lužnjaka. Logističkim preslikavanjem visinskog rasta kompleksnim jednadžbama istražiti kako se Feigenbaumov broj 4.669 ponaša tijekom visinskog rasta i razvoja sastojina. Kako eigen vrijednost (svojstvena vrijednost) primijeniti za konstrukciju visinskih krivulja i konstrukciju jednoulaznih volumnih tablica hrasta lužnjaka.

2. Logističko preslikavanje

Priroda u sebi sadrži duboki red i vjeruje se kako se on prirodno uspostavlja. Fizičar Mitchell Jay Feigenbaum iz Instituta za tehnologiju Massachussetesa prvi je dokazao kako kaos nije matematički hir, nego je univerzalno svojstvo sustava s nelinearnim povratnim učinkom. Prvi je dao značajan dokaz o tome kako kaos postoji u prirodi. Logističkim preslikavanjem populacijske jednadžbe $x \rightarrow kx\,(1-x)$ otkrio je dokaz kako na krajnjim vršcima stabla mora postojati neka matematička struktura koja ostaje ista kad se veličina mijenja za broj 4.6692016, poznat kao Feigenbaumov broj, eigen vrijednost, prevedeno na hrvatski vlastita vrijednost. Omjeri veličina debla prema granama, grana prema grančicama, dolaze sve bliže i bliže broju 4.669, što se više približavaju vrhu stabla. Prema njegovom rezultatu o univerzalnosti prirode, mogu se izreći dva eksperimentalna predviđanja. Omjer veličina intervala između susjednih udvostručenja morao bi biti oko 4.669, a omjer pod kojim se otvaraju grančice smokvinog stabla oko 2.503. Na temelju čisto kvalitativnog modela fizičar Mitchell Jay Feigenbaum dobio je kvantitativno, numeričko predviđanje.[6]

3. Nelinearno preslikavanje stabla hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

Svako stablo na svakom staništu ima matematičku strukturu, atraktor kojem teži. Atraktor je dio faznog prostora φ kojemu svaka točka koja je započela gibanje blizu njega, sve više se približava. Provjeravajući Feingenbaumov broj, došao sam do spoznaje, kako je eigen vrijednost $\delta = 4.669$ valna amplituda dužine debla A_{ld}, skalirana eigenvrijednost $s\delta = 4.090$ valna je amplituda dužine krošnje A_{lk}, a zbroj valnih dužina debla i krošnje daje valnu dužinu visine stabla $A_{.h} = 8.759$. Omjer pod kojim se otvaraju grančice stabla hrasta lužnjaka je 2.664, što daje valnu amplitudu širina krošnje A_D= 2.664. Feigenbaumov broj opća je univerzalna konstanta jednako temeljena kao i broj π, što će reći kako je omjer opsega kružnice i njezinog promjera 3.142, a omjer udvostručenja kod visinskog rasta je 4.669. Udvostručenja perioda poznata su pod nazivom bifurkacija i matematički su dokaz kaosa u prirodi. Kaos se uzdiže uz deblo, grane i kulminira u vršnim grančicama. Grananje je opće prirodno načelo. I drugi znanstvenici proučavali su eigen vrijednost, trigonometrijskim preslikavanjem $x \rightarrow k \sin(x)$ dobili su iste detalje. Za Henonovu mapu dobili su konstante $\alpha f = 8.721$ i $\Delta f = 4.018$.

4. Alati za nelinearno dinamičko bonitiranje staništa

Alati za nelinearno dinamičko bonitiranje staništa su kompleksne jednadžbe rasta i razvoja:[7]

debljinske strukture $\Psi_{d,D} = A_{d,D}\, e^{-kt} \sin(\omega_{d,D}\, t - \varphi)$ (1)

visinske strukture $\Psi_{ld,lk,h} = A_{ld,lk.h}\, e^{-kt} \sin(\omega_{ld,lk,h}\, t - \varphi) - A_{ld,lk,h} \sin(g\, t)$ (2)

Simboli u jednadžbama su: $\Psi_{d,D}$ – kompleksni brojevi debljinske strukture; $\Psi_{h,ld,lk}$ – kompleksni brojevi visinske strukture; $A_{d,D}$ – valne amplitude debljinske strukture, $A_{ld,lk,.h}$ – valne amplitude visinske strukture, e – baza prirodnog logaritma; k – koeficijent otpora rastu; t – vrijeme; ω_d – koeficijent pulsacije rasta debljinske strukture; ω_D – koeficijent pulsacije rasta krošnje u širinu, $\omega_{ld,lk,h}$ – koeficijenti pulsacije rasta visinske strukture, g – gravitacijska konstanta visinske strukture; φ – fazni prostor rasta stabla. Jednadžbe koje u sebi sadrže brzinu promjene nazivaju se diferencijalnim jednadžbama. Za hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) regresijski model izjednačenja volumena stabla Schumacher-Hall-ovom funkcijom glasi:

$$v = 0.000042655\, d^{2.0629283}\, h^{0.9145876} \quad (3)$$

Spoznajom o determinističkom kaosu u šumama konstruirao sam za hrast lužnjak standardne visinske krivulje i standardne jednoulazne volumne tablice.

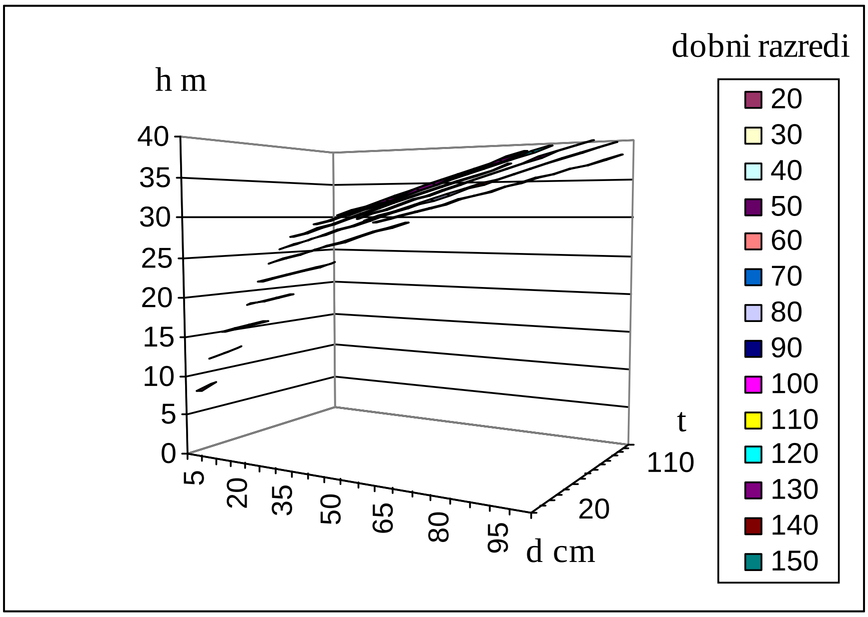
5. Nelinearno dinamičko bonitiranje staništa

Iteracijama otpora k visinskom rastu u kompleksnoj jednadžbi detektira se bonitet sastojine. Za dominantna stabla, vrijednosti otpora k manja od 0.050 preslikavaju I. bonitet sastojine, otpor k (0.051 – 0.060) preslikava II bonitet, otpor k (0.061 – 0.070) preslikava III bonitet, otpor k (0.071 – 0.080) preslikava IV bonitet, a otpor k veći od 0.081 preslikava V bonitet staništa ili ekološko-gospodarskog tipa. Kod nelinearnog dinamičkog bonitiranja staništa potrebno je izmjeriti srednju visinu dominantnih stabala, njihov srednji promjer i starost. Mogu se koristiti visinske krivulje prethodnog uređivanja šuma. Izmjerene visine hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Slavir tijekom uređivanja 2004. godine poslužile su za nelinearno dinamičko bonitiranje staništa i konstrukciju standardnih visinskih krivulja. Bonitiranje i konstrukcija standardnih visinskih krivulja obavljeno je kompleksnom jednadžbom visinske strukture (2). Okosnica nelinearnog dinamičkog bonitiranja bio je VI. dobni razred (101 do 120 g.), jer u toj dobi prestaje visinski rast hrasta lužnjaka, a visinska krivulja se stabilizirala. Empirijska je spoznaja, kako je hrast lužnjak u optimalnom stanju kada mu je srednji sastojinski prsni promjer podjednak polovici starosti sastojine. Za starost 110 godina to je 55 cm, a standardna devijacija distribucije stabala je 11 cm.

Dob-ni razre-di	Parametri visinskog rasta hrasta lužnjaka		Donje Hoenadlovo stablo d_-		Srednje sastojinsko stablo d_S		Gornje Hoenadlovo stablo d_+	
	h = a + bd m		k = 0.0526	k = 0.0522	k = 0.0393	k = 0.0491	k = 0.0264	k = 0.0467
god.	a	b	d_- cm	h_- m	d_s cm	h_s m	d_s cm	h_+ m
10	2.289	0.253	2.09	2.81	2.39	2.90	2.72	2,97
20	6.801	0.251	6.04	8.28	7.20	8.64	8.57	8.92
30	11.048	0.181	10.88	12.97	13.34	13.52	16.38	13.97
40	14.494	0.125	15.87	16.41	19.73	17.03	24.61	17.52
50	17.588	0.107	20.67	19.71	25.76	20.41	32.14	20.95
60	20.346	0.113	25.25	23.11	31.31	23.97	38.64	24.64
70	22.660	0.123	29.71	26.21	36.54	27.23	44.37	28.02
80	24.479	0.129	34.14	28.80	41.68	29.94	49.82	30.83
90	25.891	0.133	38.58	30.94	46.86	32.20	55.41	33.18
100	26.908	0.136	43.05	32.67	52.13	34.06	61.32	35.14
110	**27.562**	**0.135**	**47.5**	**33.9**	**57.5**	**35.4**	**67.5**	**36.6**
120	27.618	0.135	52.01	34.54	62.84	36.20	73.85	37.49
130	27.110	0.134	56.50	34.58	68.20	36.37	80.18	37.76
140	27.043	0.126	60.98	34.60	73.55	36.40	86.41	37.80
150	26.899	0.112	65.46	34.60	78.89	36.40	92.54	37.80

Tablica 1. Parametri visinskog rasta i razvojni tijek visina za karakteristična stabla

Srednji sastojinski prsni promjer pada u debljinski stupanj 57.5 cm, donje Hoenadlovo stablo pada u debljinski stupanj 47.5, a gornje Hoenadlovo u debljinski stupanj 67.5 cm. Iz izmjerenih visina očitaju se pripadajuće srednje visine: 47.5 = 32.9 m, 57.5 = 35.4 m i 67.5 = 36.6 m. Iteracijama koeficijentom otpora rastu k kompleksnom jednadžbom visinske strukture rekonstruiramo razvojni tijek visina h_-, h_{ds} i h_+ po dobnim razredima raspona starosti 10 godina. Kompleksnom jednadžbom debljinske strukture (1) i istim postupkom rekonstruiramo razvojni tijek debljinskog rasta donjeg Hoenadlovog stabla d_-, srednje sastojinskog d_s i gornjeg Hoenadlovog stabla d_+. Linearnom regresijom po dobnim razredima dobivamo parametre visinskih krivulja, a koji su prikazani u Tablici 1. Kako je koeficijent otpora rastu za dominantna stabla $k < 0.05$ to Uređajni razred sjemenjače hrasta lužnjaka u Slaviru pripada I. bonitetu. Visine donjeg Hoenadlovog stabla, srednje sastojinskog stabla i gornjeg Hoenadlovog stabla po dobnim razredima izravnao sam jednadžbom pravca. Linearna regresija pokazala se kao najpovoljnija linija izjednačenja. Opisanom metodom rekonstruirao sam standardni razvoj visinskih krivulja regularnih sastojina hrasta lužnjaka na I bonitetu.

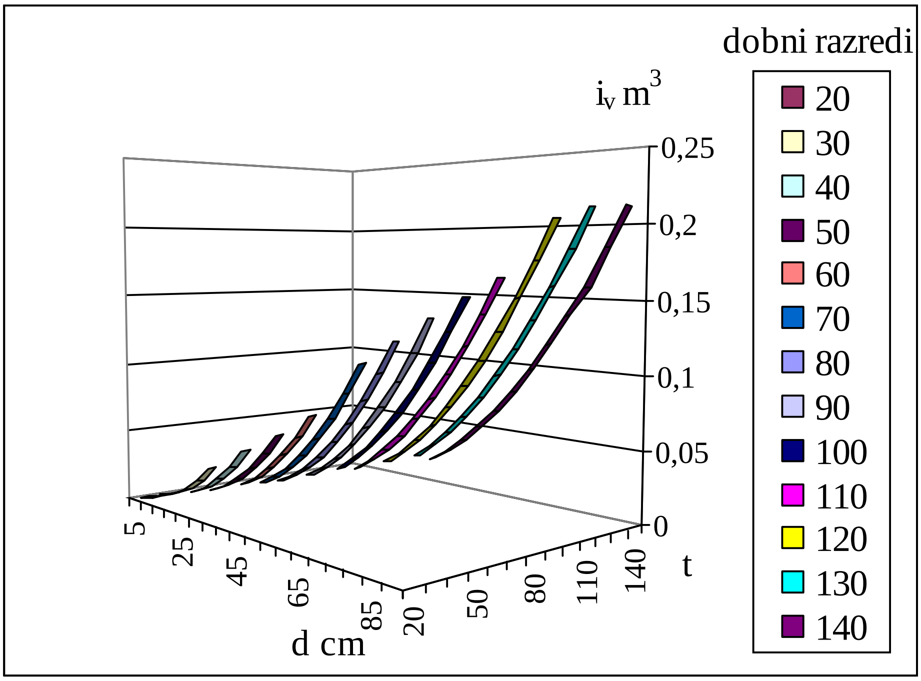


Slika 1. Standardni razvoj sastojinskog visinskog rasta lužnjaka na I. bonitetu

Istim postupkom i metodom mogu se konstruirati standardne visinske krivulje za svaku vrstu drveća i za svaki bonitet. Pritom se mogu koristiti izmjerene visine iz prethodnog uređivanja osnove gospodarenja. Prostorno-vremenski razvoj visinskih krivulja hrasta lužnjaka po dobnim razredima jednoznačno je određen bifurkacijama za sva vremena. Odnos dužine debla i dužine krošnje strogo je matematički, 0.533 : 0.467, a određuje ga amplituda dužine debla A_{hd} = 4.669 i amplituda dužine krošnje A_{lk} = 4.090, što će reći eigen-vrijednost δ =4.669201609. Na Slici 1 razvidna je zakrivljenost pete dimenzije. Ovakav razvojni tijek visinskih krivulja zakonitost je visinskog rasta i univerzalna za sva vremena. Vrlo važna spoznaja za konstrukciju standardnih visinskih krivulja i jednoulaznih volumnih tablica. Jednoulazne volumne tablice hrasta lužnjaka na I bonitetu prikazane su do 120 godine starosti jer u toj dobi prestaje visinski rast i tarifa ostaje ista za starije sastojine (Tablica 2). Na empirijskoj spoznaji, kako stabla istog prsnog promjera i iste visine teže istom volumenu, temelji se konstrukcija dvoulaznih volumnih tablica. Svako stablo u šumi na svakom staništu ima svoju matematičku strukturu, atraktor kojem teži. Atraktor je dio faznog prostora kojemu svaka točka koja je započela gibanje blizu njega, sve više se približava. Kako prolazi vrijeme bliska područja stežu se prema stablu, što će reći, teže istom volumenu i istoj sortimentnoj strukturi.

Prsni promjeri	Dobni razredi										
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120,130, 140, 150
	m^3										
7,5	0.020	0.027	0.033	0.039	0.044	0.049	0.052	0.055	0.057	0.058	0.058
12,5	0.064	0.083	0.099	0.115	0.131	0.144	0.154	0.162	0.168	0.169	0.172
17,5	0.142	0.177	0.205	0.236	0.268	0.295	0.316	0.332	0.343	0.345	0.351
22,5		0.315	0.356	0.407	0.460	0.507	0.542	0.569	0.589	0.591	0.601
27,5			0.557	0.630	0.712	0.784	0.838	0.879	0.909	0.913	0.928
32,5			0.811	0.919	1.027	1.130	1.208	1.267	1.309	1.315	1.335
37,5			1.123	1.252	1.409	1.550	1.656	1.736	1.794	1.801	1.829
42,5				1.658	1.863	2.048	2.186	2.292	2.368	2.376	2.412
47,5				2.131	2.391	2.628	2.805	2.938	3.033	3.045	3.090
52,5				2.677	2.999	3.294	3.514	3.681	3.798	3.813	3.868
57,5					3.689	4.051	4.319	4.522	4.665	4.683	4.749
62,5					4.466	4.902	5.225	5.469	5.639	5.661	5.739
67,5					5.333	5.851	6.235	6.532	6.725	6.750	6.841
72,5					6.294	6.904	7.354	7.691	7.926	7.955	8.061
77,5					7.353	8.064	8.586	8.977	9.248	9.281	9.403
82,5						9.334	9.934	10.384	10.695	10.733	10.871
87,5						10.719	11.405	11.918	12.271	12.314	12.468
92,5								13.581	13.981	14.028	14.202
97,5								15.381	15.828	15.881	16,.075

Tablica 2. Jednoulazne volumne tablice (tarife) hrasta lužnjaka na I. bonitetu



Slika 2: Prostorno vremenski razvojni tijek tečajnog godišnjeg volumnog prirasta

Sastojinski tečajni godišnji volumni prirast i_v izračunava se Hufnaglovom metodom. Razlika volumena po debljinskim stupnjevima sadašnje i buduće sastojine daje budući tečajni godišnji volumni prirast i_v. Prirasni nizovi tečajnog godišnjeg volumnog prirasta konkavnog su oblika i prikazani su na Slici 2.

Razvojni tijek tečajnog godišnjeg volumnog prirasta i_v razvidno nam ukazuje na relativističku pojavu, na Einsteinovo prvo specijalno načelo relativnosti:

Svi opći prirodni zakoni koji vrijede u nekom referentnom sustavu K moraju također nepromjenjivi vrijediti i u nekom drugom referentnom sustavu K' koji se ravnomjerno translatorno giba u odnosu na K.

6. Zaključak

Šuma je kaotični nelinearni dinamički sustav. Svako stablo na svakom staništu ima matematičku strukturu, atraktor kojem teži i ima svoju brzinu rasta. Fizičar Mitchell Jay Feigenbaum dokazao je, kako kaos nije matematički hir, već je univerzalno svojstvo sustava s nelinearnim povratnim učinkom. Dao je značajan dokaz o tome kako kaos postoji u prirodi. Logističkim preslikavanjem populacijske jednadžbe otkrio je dokaz kako na krajnjim vršcima stabla mora postojati neka matematička struktura koja ostaje ista kad se veličina mijenja za broj 4.6692016. Omjeri veličina debla prema granama, grana prema grančicama, dolaze sve bliže i bliže broju 4.669, što se više približavaju vrhu stabla. Na temelju kvalitativnog modela Feigenbaum je dobio kvantitativno, numeričko predviđanje. Kompleksne jednadžbe debljinske i visinske strukture kvalitativni su alati za kvantitativno nelinearno dinamičko bonitiranje staništa. Iteracijama koeficijenta otpora visinskog rasta može se jednostavno utvrditi bonitet staništa. Kompleksne jednadžbe debljinskog i visinskog rasta univerzalni su alati za konstrukciju standardnih visinskih krivulja, konstrukciju dvoulaznih i jednoulaznih volumnih tablica. Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) kozmičko je drvo, ima jediničnu brzinu rasta.

7. Literatura

[1] Meštrović, Š., Fabijanić, G., (1995): *Priručnik za Uređivanje šuma*. Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva; Hrvatske šume p.o. Zagreb, 1- 416 str., ISBN 953-6253-04-6.

[2] Špiranec, M., (1975): *Drvnogromadne tablice*, Rad. Šumar.inst., br 22, 1-258 str., Zagreb.

[3] Levaković, A., (1938): Fiziološko-dinamički osnovi funkcija rastenja, Glasnik za šumske pokuse 6, 374-389 str, Zagreb.

[4] Levaković, A., (1938): O izgledima i mogućnostima numeričkog bonitiranja stojbina. Glas. Šum. pokuse 6, 319-373 str, Zagreb.

[5] Klepac, D., (1971): Jedan pokus o tome kako se pomiče visinska krivulja u jednodobnim sastojinama hrasta lužnjaka s obzirom na njihovu starost. Šum. list, 141-149 str., Zagreb.

[6] Stewart, I., (1996): Does *God play dice?* Prijevod, Lopac, V., 2003: *Kocka li se bog? Nova matematika kaosa*. Naknada Jesenski Turk, Zagreb,1-480 str., ISBN 953-6253-04-6.[7]

Bezak, K. (2007). *Deterministic Chaos in Forests*. DAAAM International Scientific Book 2007, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 3-901509-60-7, ISSN 1726-9687, Vienna, Austria.