

DISIPATIVNA (RAZBACANA) STRUKTURA SJEMENJAČA HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.) U GOSPODARSKOJ JEDINICI “SLAVIR”

THE DISSIPATIVE STRUCTURE OF HIGH FORESTS OF PEDUNCULATE OAK (*Quercus robur* L.) IN THE MANAGEMENT UNIT “SLAVIR”

Karlo BEZAK*, Danko KURIC*, Miljenko VREBČEVIĆ*

SAŽETAK: Šume su kaotični nelinearni dinamički sustavi, što znači kako im se stanje mijenja sukladno pravilima koje diktiraju zakoni prirode.

Autori istražuju disipativno stanje, brzinu rasta i produkciju sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u gospodarskoj jedinici Slavir. Tijekom istraživanja primjenjuju Teoriju nelinearnih dinamičkih sustava i Teoriju disipativnih struktura. Kompleksnim jednadžbama rasta i razvoja debljinske i visinske strukture analiziraju stanje i brzinu rasta sjemenjača hrasta lužnjaka. Teorijom o disipativnim strukturama klasificirane su sastojine na: ravnotežne, periodične, neperiodične i kaotične. Disipativne šume, u ravnoteži, blizu ravnoteže i daleko od ravnoteže.

Pojam disipativna struktura uveo je belgijski kemičar i fizičar Ilyje Prigogine, kako bi objasnio koherentno ponašanje u sustavima daleko od stanja ravnoteže. Njime se objašnjava uska povezanost između strukture i reda na jednoj i disipacija na drugoj strani. Teorija disipativnih struktura govori o kretanju od reda prema neredu i sve većoj entropiji. Prema drugom zakonu termodinamike, dok entropija raste, energija se gubi ireverzibilno. Rasipanje energije koje je ireverzibilno na molekularnoj razini prati suprotan proces uređenog kaosa na subatomskoj razini. Prema Prigoginu, disipativne strukture su otoci reda u moru nereda, održavajući i povećavajući svoj red na način da povećavaju nered svojeg okruženja.

Izrađena je karta disipativne strukture sjemenjača hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) za gospodarsku jedinicu Slavir. Za I. bonitet konstruirani su standardni nizovi visina, a za svako stanje sastojina iteracijama dobiveni su parametri regresijskih nizova tečajnog godišnjeg debljinskog prirasta. Za disipativnu strukturu sastojina konstruirane su volumne prirasno-prihodne tablice i tablice novčane vrijednosti drvnih sortimenata na I. bonitetu.

Signifikantne su razlike u produkciji i novčanoj vrijednosti drvnih sortimenata za disipativnu strukturu hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.).

Mlade sastojine u fazi prvih kulminacija prirasta, do 20 godina starosti, površine 1204 ha u disipativnoj strukturi su početno stanje. Karakteristična značajka kaotičnih sustava je njihova osjetljiva ovisnost o početnim uvjetima.

I najmanji biotički i abiotički poremećaj može prouzročiti nelinearni povratni učinak.

* Dr. sc. Karlo Bezak, dipl. ing. šum.,

* Danko Kuric, dipl. ing. šum.,

* Miljenko Vrebčević, ing. geod.

Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, Lj. F. Vukotinovića 2.

Sastojine u ravnotežnom stanju, površine 621 ha su pretežno mlade i ne mogu se uspoređivati sa starijim u periodičnom, neperiodičnom i kaotičnom stanju.

Sastojine u periodičnom stanju nalaze se na površini 1295 ha, uz obrast 0.86, prirašćuju 7.10 m³/ha, na prosječnoj zalih 347.7 m³/ha, a novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 156.441 kuna na jednom hektaru.

Sastojine u neperiodičnom stanju nalaze se na površini 3720 ha, uz obrast 0.86, prirašćuju 6.71 m³/ha, na prosječnoj zalih 352.2 m³/ha, a novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 162.450 kuna na jednom hektaru.

Sastojine u kaotičnom stanju nalaze se na površini 1004 ha, obrast 0.80, prirašćuju 5.61 m³/ha, na prosječnoj zalih 352.8 m³/ha, a novčana vrijednost drvnih sortimenata zbog sušenja iznosi samo 65.048 kuna na jednom hektaru.

Rezultati istraživanja putokaz su modeliranju multi-dimenzijske dinamike šuma u cilju višenamjenskog i potrajnog gospodarenja.

Ključne riječi: disipativne strukture, nelinearni dinamički sustavi, kompleksne jednadžbe, dendrogrami, potrajno gospodarenje.

1. PROBLEM I CILJ ISTRAŽIVANJA – Research matter and objective

Cilj i način gospodarenja šumama je osiguranje stabilnosti ekosustava, održavanje i poboljšavanje općekorisnih funkcija šuma, te napredno i potrajno gospodarenje. Cilj gospodarenja šumama hrasta lužnjaka, uz očuvanje stabilnosti ekosustava i potrajnosti prihoda je produkcija furnirske i deblje pilanske oblovine. Kako bi postigli propisani cilj gospodarenja, produkciju visoko vrijednih furnirskih trupaca, najvažniji je izbor modela sa svim parametrima razvojnog tijeka sastojinske strukture.

Radni vijek šumara u odnosu na životni vijek hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) prekratak je kako bi uzgajili sastojinu sukladno cilju gospodarenja. Odabir stabala za proredu obavljalo je više šumarskih stručnjaka, s različitim vizijama, primjenjujući različite modele gospodarenja. Rezultat takvog načina gospodarenja je velika varijabilnost strukturnih oblika i stanja lužnjakovih sastojina u Republici Hrvatskoj.

U gospodarenju regularnih šuma primjenjivao se i još uvijek primjenjuje linearni model. Linearni odnosi dopuštaju nam da predvidimo što će se dogoditi unutar sustava, i lako se može grafički prikazati. Drugim riječima, na grafikonima tvore pravac, a zna se kamo taj pravac vodi. Razlog zašto se primjenjuje linearni model leži u tome što većina znanstvenika reducira teške nelinearne probleme na jednostavne linearne, kako bi ih lakše mogli analizirati.

Šume i šumska zemljišta sukladno Pravilniku o uređivanju šuma razvrstavaju se po uređajnim razredima, Meštrović i Fabijanić (1995). Uređajni razredi određuju se prema namjeni šume i glavnoj vrsti drveća na temelju koje se određuje cilj gospodarenja i vrijeme minimalne ophodnje.

Unutar uređajnog razreda, u regularnim šumama dendrometrijski podaci izmjere sastojine, visine i izvrtci, razvrstavaju se po dobnoj strukturi raspona starosti dvadeset godina, Tablica 1. Visinske krivulje ustrojavaju se na temelju izmjerenih visina, a prirast se određuje metodom izvrtaka ili kontrolnom metodom. Etat glavnog prihoda visokih regularnih šuma po metodi razmjera dobnih razreda, usporedbom stvarnog i normalnog razmjera dobnih razreda za svaki uređajni razred posebice. U praksi se najčešće primjenjuju metode intenziteta prorjeđivanja. Ovakvo grubo i mehaničko razvrstavanje podataka dendrometrijske izmjere gruba su aproksimacija visokog rizika. Dobivaju se prosjeci koji su neupotrebljivi za svaku analizu, prognozu rasta i razvoja šuma, a posebno za propisivanje smjernica gospodarenja, propis etata glavnog prihoda i etata prethodnog prihoda.

U gospodarskoj jedinici Slavir poseban je problem sušenje hrasta lužnjaka. U odsjecima koji se suše prekoračenje propisanog etata je 164 %. Učešće slučajnog prethodnog prihoda u njihovoj ukupno posjećenoj drvenoj masi je 50 %.

Cilj je ovih istraživanja, izrada modela za multi-dimenzijsko modeliranje šuma radi višenamjenskog i potrajnog gospodarenja. Teorijom o disipativnim (*rasipnim*) strukturama detektirati stabilne sastojine, sastojine blizu ravnoteže i nestabilne sastojine. Za svako stanje izraditi volumne prirasno-prihodne tablice i tablice novčane vrijednosti drvnih sortimenata. Kartografski prikazati fraktalnu dimenziju disipativnih struktura hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Slavir.

2. PODRUČJE I MATERIJAL – Research field and material

Područje istraživanja je gospodarska jedinica Slavir u Spačvanskom bazenu. Jedna od najvećih i najsačuva-

njih, ukupne obrasle površine 8220 ha, a obuhvaća središnji i sjeverni dio Spačvanskog bazena. Korišteni

Tablica 1. Struktura površina, drvene zalihe i prirasta za UR sjemenjače hrasta lužnjaka
 Table 1 Structure of areas, growing stock and increment for the management class of pedunculata oak high forests

Vrsta drveća Tree species	Dobni razredi														Ukupno Total		Omjer smjese Mixture ratio %
	I		II		III		IV		V		VI		VII		Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment	
	Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment	Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment	Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment	Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment	Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment	Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment	Drv. masa Vol. of wood	Prirast Increment			
ha	m ³																
hr. lužnjak <i>Q. robur</i>	42284	3933	3296	91	3238	81	317339	7659	875786	17570	865342	13629	2107285	42963	74,40		
polj. jasen <i>F. angustif.</i>	14592	1482	2063	70	1709	50	86881	2100	164724	3823	82998	1615	352967	9140	12,46		
am. jasen <i>F. americ.</i>					137	5	32	1					169	6	0,01		
grab <i>C. betulus</i>	4450	325	1234	43	792	27	1050	35	99198	3079	173615	5151	280339	8660	9,90		
klen <i>A. campres.</i>	892	68	315	13	43	1	989	38	8370	276	16197	508	26806	904	0,95		
vez <i>U. laevis</i>	1472	108	138	4	195	7	8449	279	11078	349	4592	135	25924	882	0,92		
bagrem <i>Robinia p.</i>	16	2											16	2			
o. voće Fruit tree	762	49	114	5			2371	75	2123	66	1081	32	6451	227	0,23		
OTB	546	37	209	8	112	5	2781	94	11056	380	9669	333	24373	857	0,86		
lipa sp. <i>Tilia s.p.</i>			201	5					1007	20	2420	42	3628	67	0,13		
o. vrba <i>Salix s.p.</i>	623	70			177	4					26		826	74	0,03		
b. topola <i>Populus s.p.</i>	462	52	568	14	601	18	1120	27	733	16	174	2	3658	129	0,13		
Ukupno Total	66099	6126	8138	253	7004	198	421012	10308	1174075	25579	1156114	21447	2832442	63911	100,00		
površ. ha area	1195,2	468,21	29,26	24,22	1036,06	2561,88	2296,54	7611,35									
pr. starost Aver. age	12	25	57	66	95	112											
hr. lužnjak <i>Q. robur</i>	90	8,40	113	3,11	134	3,34	306	7,39	342	6,86	377	5,93	277	5,64	74,46		
Ukupno Total	141	13,08	278	8,65	289	8,18	406	9,95	458	9,98	503	9,34	372	9,96	100,00		

su rezultati dendrometrijske izmjere redovne revizije osnovne gospodarenja za razdoblje 2004. – 2013 godine, Dodig i drugi (2004) koju je izradio sukladno Pravilniku za uređivanje šuma odjel za uređivanje šuma Vinkovci.

U Tablici 1. prikazana je struktura površina (7611.35 ha), drvene zalihe i prirasta po dobnim razredi-

ma za UR sjemenjače hrasta lužnjaka gospodarskih šuma na I bonitetu.

Iz Tablice 1. vidljiv je nerazmjer dobnih razreda, manjak površina u trećem i četvrtom dobnom razredu, a 67 % površine gospodarske jedinice su sastojine starije od 100 godina.

3. METODA ISTRAŽIVANJA – Research methods

Logaritamska spirala i Zakon prigušenih sinusoidnih oscilacija ključ je spoznaje sveobuhvatne zakonitosti rasta i razvoja šuma. Alati za numeričku prognozu rasta i razvoja šuma, numeričko bonitiranje, detekciju stanja sastojine i konstrukciju prirasno-prihodnih tablica su kompleksne jednadžbe rasta i razvoja šuma Beza k, (1992, 2002a):

rasta debljinske strukture $\Psi_d = Ae^{-kt} \sin(\omega_{pd} t - \varphi)$,

rasta visinske strukture

$\Psi_h = Ae^{-kt} \sin(\omega_{ph} t - \varphi) - A \sin(\omega_l t)$

Simboli u jednadžbama su:

Ψ_d – kompleksni brojevi debljinskog rasta;

Ψ_h – kompleksni brojevi visinskog rasta;

A – valne amplitude, $e = 2718$ – baza prirodnog logaritma;

k – koeficijent otpora rastu; t – vrijeme;

ω_{pd} – koeficijent pulsacije debljinskog rasta;

ω_D – koeficijent pulsacije širenja krošnje;

$\omega_{ph}, \omega_{pld}$ – koeficijenti pulsacije visinske strukture;

$\omega_l = 0.000532793 \text{ god}^{-1}$ – gravitacijska konstanta visinske strukture;

φ – fazni prostor rasta.

U Tablici 2. prikazani su parametri kompleksnih jednadžbi sastojinske debljinske i visinske strukture za hrast lužnjak (*Quercus robur* L.).

Tablica 2. Parametri sastojinske debljinske i visinske strukture hrasta lužnjaka

Table 2 Parameters of a stand's diameter and height structure of pedunculate oak

Struktura Structure	Parametri debljinske i visinske strukture Parameters of diameter and height structure			
	Amplituda Amplitude	Period Period	Koeficijenti pulsacije Pulsation coefficient	Faza Phase
	A	Godina Year	$\omega_p \text{ god}^{-1}$ $\omega_p \text{ year}^{-1}$	$\varphi \text{ god}^{-1}$ $\varphi \text{ year}^{-1}$
Prsni promjer d cm Breast diameter d cm	5.328	100/10	0.0729927	0.0010
Širina krošnje D m Crown width D m	2.664	100/4	0.1824817	0.2664
Visina stabla h m Tree height h m	8.759	100/2	0.1459854	0.8759
Visina debla h_d m Stem height h_d m	4.669	100/2	0.1459854	0.8759

Numeričko bonitiranje staništa, konstrukcija tarifa i obračun volumena sastojine obavljeno je kompleksnom jednadžbom visinskog rasta.

Koeficijent otpora rastu k jedini je nelinearni član, kojim se jednostavno usklađuje brzina rasta modela s brzinom rasta svakog stabla ili sastojine.

harmonično	–	ravnotežno	–	periodično	–	neperiodično	–	kaotično
<i>harmonious</i>	–	<i>balanced</i>	–	<i>periodic</i>	–	<i>non-periodic</i>	–	<i>chaotic</i>
0.001	–	0.027	–	0.050	–	0.073	–	0.999

Vrijednosti koeficijenta otpora rastu $k < 0.045$ indiciraju ravnotežne sastojine, između $0.045 < 0.055$ indiciraju sastojine u periodičnom stanju, sastojine s k u rasponu $0.055 < 0.065$ su u stanju neperiodičnosti, a sastojine s koeficijentom otpora $k > 0.065$ ulaze u kaotično stanje.

Numeričko vrednovanje stanja vitalnosti i debljinskog prirasta sastojine utvrđeno je istovremeno kompleksnom jednadžbom debljinske strukture prema shemi:

Prigušivanjem krošnje modeliramo stabilne, periodične ili neperiodične sastojine. Kada je otpor rastu k veći od koeficijenta pulsacije ω_{pd} sastojine ulaze u neperiodično i kaotično stanje.

Omjere dužine debla h_{ld} i dužine krošnja h_{lk} kod visinskog rasta 0.533:0.467 određuje *eigenvrijednost* 4.669. Razvojni tijek visinskog rasta po dobnim razredima jednoznačno je određen bifurkacijama za sva vremena.

Iteracijama koeficijenta otpora rastu k numerički je obrađen hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u svakom odjelu/odsjeku UR sjemenjače hrasta lužnjaka, bez obzira na namjenu, bonitet i ekološko-gospodarski tip, Tablica 3 i 4. U kaotično stanje razvrstane su sve sastojine u kojima je započelo intenzivno sušenje, a u sastojinama razvrstanih sukladno shemi u neperiodično stanje evidentirana su sušenja slabijeg intenziteta.

Novčana vrijednost drvnih sortimenata utvrđena je primjenom sortimentnih tablica koje se primjenjuju za izračun sortimentne strukture u planu proizvodnje drvnih sortimenata za hrast lužnjak po debljinskim razredima. Vrijednost drvnih sortimenata izračunata je primje-

nom planskog cjenika drvnih sortimenata koji je temeljen na “Cjeniku glavnih šumskih proizvoda Hrvatske šume d.o.o.” u kategoriji cijena drvnih sortimenata na panju. Kako je cjenik trupaca iskazan po debljinskim razredima srednjeg promjera, za potrebe planiranja prihoda od prodaje kao i za potrebe ovog rada u planskom cjeniku odabrana je cijena srednjeg debljinskog razreda za pojedinu klasu trupaca hrasta lužnjaka. Na ovaj način obračunata vrijednost produkcije iskazana je prema stanjima sastojina u tablicama, (Tablice 10–13).

Konstrukcija volumnih prirasno-prihodnih tablica i tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata obavljena je po modelu opisanom u Šumarskom listu, Bezak (2002b).

Istraživanja su provedena samo za jednu vrstu drveta u sastojini, te se sve analize i usporedbe odnose na hrast lužnjak (*Quercus robur* L.).

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Research results

Numeričkim klasificiranjem UR sjemenjače hrasta lužnjaka u gospodarkoj jedinici Slavir, iteracijama koeficijenta otpora rastu sukladno shemi, dobivena je disi-

pativna struktura hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) po površini, temeljnici, volumenu, prirastu i novčanoj vrijednosti drvnih sortimenata, a prikazana je u Tablici 3.

Tablica 3. Disipativna struktura šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Slaviru
Table 3 Dissipative structure of pedunculate oak forests (*Quercus robur* L.) in Slavir

Godine Years	Površine Areas ha	Izmjereno ravnotežno stanje – 1 ha <i>Measured balanced condition – 1 ha</i>					Tablično stanje – 1 ha <i>Tabular condition – 1 ha</i>				
		N kom	G m ²	i_v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna	N kom	G m ²	i_v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna
1-10	443.08										
11-20	760.87										
21-30	473.57	819	12.8	8.55	103.1	8.058	1082	13.7	7.94	97.8	8.625
31-40	18.52	316	9.8	5.8	75.0	7.849	643	17.7	10.08	159.0	14.177
41-50	1.19	86	4.3	1.8	57.0	4.377	410	19.2	10.53	206.8	19.543
51-60	28.07	78	8,0	3.17	115.0	13.251	305	21.2	11.39	267.6	35.114
61-70	22.32	64	8.2	3.29	130.3	27.396	233	22.2	11.38	318.3	74.169
71-80	1.90	82	11.1	4.40	175.0	45.118	180	22.8	10.44	354.2	92.675
91-100	29.05	66	15,0	5.93	265.1	111.337	120	23.3	10.12	422.0	172.943
101-110	2.65	90	17.7	6.20	315.0	155.548	100	23.7	9.55	448.1	208.276
111-120	30.45	59	14.8	5.17	271.9	169.953	85	24.0	8.72	466.5	275.599
121-130	9.36	67	20.8	6.28	405.5	239.356	73	24.4	7.72	478.5	280.782
141-150	4.41	49	23.6	7.10	484.0	280.673	55	24.8	6.66	493.2	294.945
Ukupno Total	1825.24			4764	79.481	17.333.939			5.338	99068	25.081.447
	Pros.1 ha Ave. 1 ha	648	12.7	7.67	127.9	27.900	879	15.74	8.43	159.5	40.370
Godine Years	Površine Areas ha	Izmjereno ravnotežno stanje – 1 ha <i>Measured balanced condition – 1 ha</i>					Tablično stanje – 1 ha <i>Tabular condition – 1 ha</i>				
		N kom	G m ²	i_v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna	N kom	G m ²	i_v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna
81- 90	196.38	198	20.7	8.06	317.2	109.250	176	22.3	10.05	368.8	117.695
91-100	262.55	187	20.1	7.91	330.5	112.749	144	22.7	9.62	398.4	127.334

101-110	292.55	124	18.8	6.69	326.7	142.046	120	23.1	9.02	422.6	174.535
111-120	264.45	103	20.6	7.22	367.5	180.445	102	23.4	8.19	439.2	204.095
121-130	70.30	84	20.4	6.10	384.2	211.718	87	23.6	7.24	449.2	244.929
131-140	53.16	70	18.6	5.49	350.5	210.919	76	23.9	6.80	457.6	271.020
141-150	155.40	63	20.4	6.12	401.3	232.504	66	24.1	6.31	463.8	274.674
Ukupno <i>Total</i>	1294.79			9.198	449.830	202.558.354			11.155	544.782	235.887.894
	Pros.1 ha <i>Ave. 1 ha</i>	132	20.0	7.10	347.7	156.441	120	23.14	8.62	420.7	182182
Godine <i>Years</i>	Površine <i>Areas ha</i>	Izmjereno ravnotežno stanje – 1 ha <i>Measured balanced condition – 1 ha</i>					Tablično stanje – 1 ha <i>Tabular condition – 1 ha</i>				
		N kom	G m ²	i _v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna	N kom	G m ²	i _v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna
91-100	557.93	168	18.0	7.03	289.0	91.992	165	22.3	9.32	384.6	122.422
101-110	640.45	132	18.1	6.48	318.8	131.421	137	22.7	8.69	407.3	167.904
111-120	1276.29	105	20.2	7.11	358.0	166.796	116	23.0	7.89	423.5	197.313
121-130	778.99	92	21.6	6.41	401.2	185.818	100	23.3	6.92	432.1	200.129
131-140	466.46	87	20.6	6.01	377.1	205.282	86	23.5	6.47	439.2	239.088
Ukupno <i>Total</i>	3720.12			24.944	1.310.156	604.332..293			29.244	1.557.415	695.08.9.110
	Pros.1 ha <i>Ave. 1 ha</i>	114	19.8	6.71	352.2	162.450	120	22,97	7.86	418.6	186.846
Godine <i>Years</i>	Površine <i>Areas ha</i>	Izmjereno ravnotežno stanje – 1 ha <i>Measured balanced condition – 1 ha</i>					Tablično stanje – 1 ha <i>Tabular condition – 1 ha</i>				
		N kom	G m ²	i _v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna	N kom	G m ²	i _v m ³	V m ³	N.v. M.v. kuna
101-110	28.39	104	15.2	5.42	350.4	56.952	156	22.3	8.37	392.2	83.555
111-120	118.82	78	18.3	6.40	333.5	59.310	132	22.6	7.58	407.4	73.246
121-130	149.23	78	19.7	5.88	374.1	64.545	113	22.8	6.64	415.3	74.702
131-140	272.78	66	17.7	5.29	338.0	63.965	98	23.0	6.15	421.2	83.118
141-150	434.96	62	18.8	5.52	360.3	67.995	86	23.2	5.84	426.7	83.909
Ukupno <i>Total</i>	1004.18			5.636	354.317	65.319.610			6347	421.995	81.392.982
	Pros.1 ha <i>Ave. 1 ha</i>	69	18.5	5.61	352.8	65.048	101	23.0	6.32	420.2	81054

U Tablici 4. nalazi se zbirni prikaz površina (7844.33 ha), prirasta, drvne zalihe, novčane vrijednosti drvnih sortimenata i tablični za optimalno stanje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L).

Početno stanje su sastojine stare do 20 godina. Početni uvjeti, period prve kulminacije visinskog i debljinskog prirasta kada njegoj usmjeravamo sastojine prema ravnotežnom stanju. I najmanji biotički i abiotički poremećaj, zahvat u njezi ili izostanak njege mogu usmjeriti sastojinu prema stabilnom ili nestabilnom stanju.

Za svako stanje izračunat je razvojni tijek prsnih promjera srednje sastojinskog stabla d_s po dobnim razredima raspona starosti 10 godina.

Iteracijama koeficijenta k i kompleksnim jednadžbama dobivaju se kompleksni brojevi, integracijom prirast, a daljnjom integracijom rast. Razvojni ti-

jek srednje sastojinskog stabla d_s potpuno se uklapa u izmjerene podatke stanja rasta debljinske disipativne strukture. Istodobno se dobivaju optimalne širine krošanja, optimalni broj stabala, prirasti i parametri tečajnog godišnjeg debljinskog prirasta za svaki dojni razred, raspona starosti 10 godina.

Rješenja kompleksnih jednadžbi su kompleksni brojevi koji preslikani u koordinatni sustav prikazuju *den-drograme* debljinske i visinske strukture. Okomiti smjerovi prikazuju amplitude ili multi-dimenzionalne vektore, a vodoravni smjerovi prikazuju prostor i vrijeme.

U Tablici 5. prikazani su parametri linearne regresije pomaka visinskog rasta na I. bonitetu i parametri prirasnih nizova tečajnog godišnjeg debljinskog prirasta po dobnim razredima za svako stanje sastojine.

Tablica 4. Površine, drvena zaliha, prirast i novčana vrijednost drvnih sortimenata hrasta lužnjaka

Table 4 Areas, growing stock, increment and monetary value of wood assortments of pedunculate oak

Disipativna struktura <i>Dissipative structure</i>	Površine <i>Areas</i> ha	%	Izmjereno redovnom revizijom <i>Measured in regular revision</i>					Tablično <i>Tabular</i>		
			Prirast <i>Increment</i> i_v m ³ /ha	Ukupni prirast <i>Total increment</i> i_v m ³	Volu- men <i>Volume</i> V m ³ /ha	Ukupni volumen <i>Total volume</i> V m ³	Novčana vrijednost <i>Monetar value</i> kuna/ha	Prirast <i>Increment</i> i_v m ³ /ha	Volu- men <i>Volume</i> V m ³ /ha	Novčana vrijednost <i>Monetary value</i> kuna/ha
Početno stanje <i>Initial condition</i>	1203.95	15.3	-	-	-	-	-	-	-	-
Ravnotežno <i>Balanced</i>	621.29	7.9	7.67	4.764	127.9	79.481	27.900	8.43	159.5	40.370
Periodično <i>Periodic</i>	1294.79	16.5	7.10	9.198	347.7	449.830	156.441	8.62	420.7	182.182
Neperiodično <i>Non-periodic</i>	3720.12	47.5	6.71	24.944	352.2	1.310.156	162.450	7.86	418.6	186.846
Kaotično <i>Chaotic</i>	1004.18	12.8	5.61	5.636	352.8	354.317	65.048	6.32	420.2	81.054
Ukupno <i>Total</i>	7844.33	100		44.542		2.194.363	889.544.196	51.985	2.623.013	1.037.451.433
Prosječno 1 ha <i>Ave. 1 ha</i>			5.68		279.7		113.400	7.83	395.0	132.255

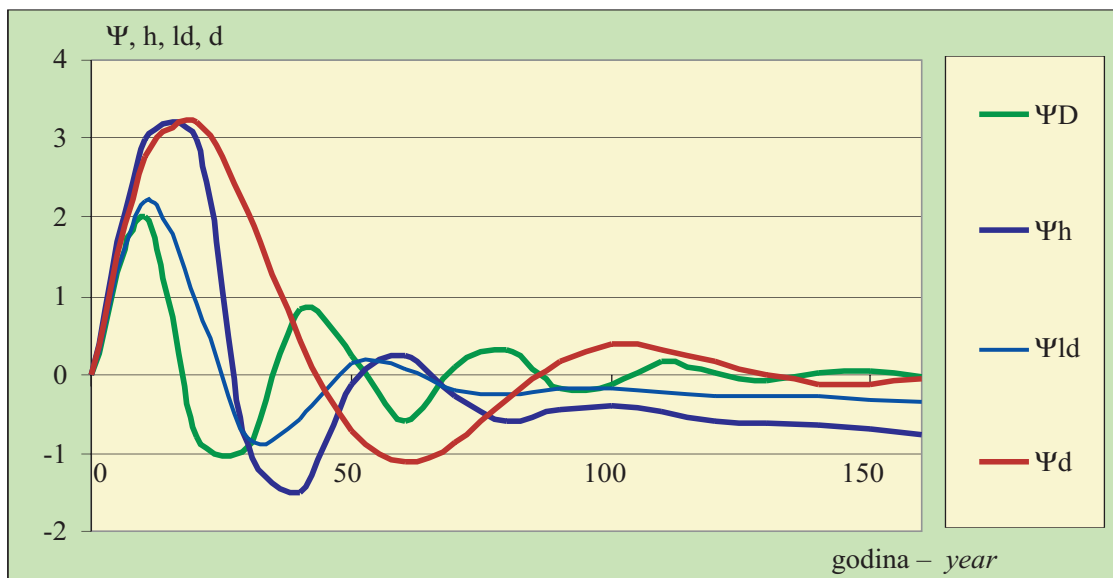
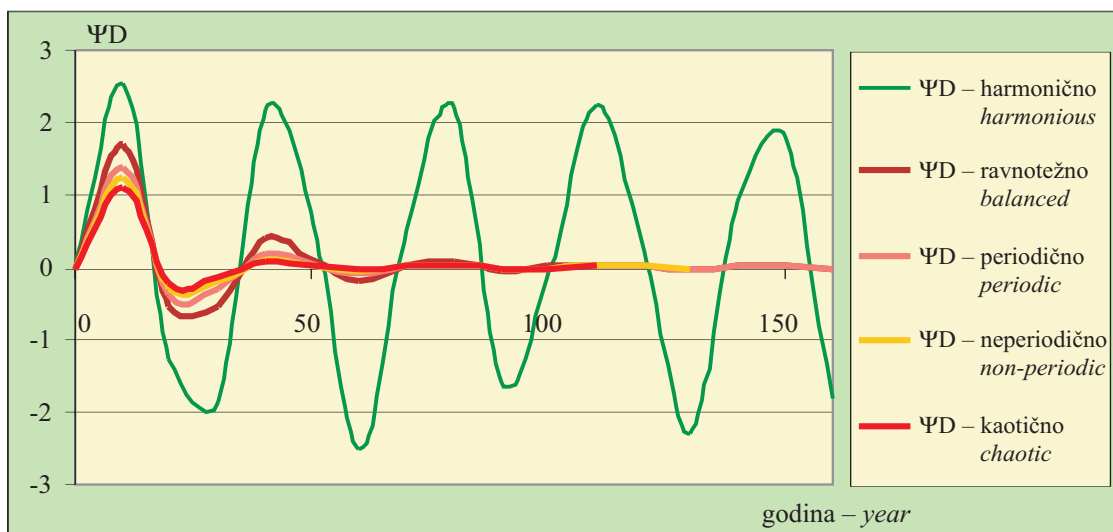
Tablica 5. Parametri visinskog rasta i debljinskog prirasta disipativnih struktura hrasta lužnjaka

Table 5 Parameters of height growth and diameter increment of dissipative structures of pedunculate oak

Godine <i>Years</i>	Parametri visinskog rasta na I. bonitetu <i>Parameters of height growth in the first site class</i>		Ravnotežno stanje <i>Balanced condition</i>		Periodično stanje <i>Periodic condition</i>		Neperiodično stanje <i>Non-periodic condition</i>		Kaotično stanje <i>Chaotic condition</i>	
	$h = a + bd$ m		$i_d = a + bd$ mm		a	b	a	b	a	b
10	2.253	0.308	2.320	0.000	2.152	0.000	2.048	0.000	1.948	0.000
20	6.689	0.323	2.263	0.336	1.948	0.344	1.763	0.350	1.595	0.355
30	10.969	0.237	1.214	0.361	0.969	0.362	0.834	0.363	0.718	0.363
40	14.604	0.157	0.215	0.310	0.159	0.306	0.131	0.304	0.107	0.302
50	17.625	0.135	-0.309	0.246	-0.212	0.242	-0.165	0.240	-0.129	0.238
60	20.338	0.145	-0.393	0.192	-0.251	0.190	-0.186	0.190	-0.137	0.189
70	22.513	0.160	-0.251	0.153	-0.148	0.154	-0.105	0.155	-0.073	0.155
80	24.291	0.167	-0.076	0.127	-0.041	0.130	-0.028	0.131	-0.018	0.132
90	25.734	0.169	0.032	0.111	0.016	0.114	0.010	0.115	0.007	0.116
100	26.760	0.171	0.064	0.101	0.030	0.103	0.018	0.104	0.011	0.104
110	27.374	0.171	0.049	0.092	0.021	0.093	0.012	0.094	0.007	0.094
120	27.514	0.169	0.020	0.085	0.008	0.085	0.004	0.086	0.002	0.086
130	27.185	0.164	-0.001	0.072	-0.001	0.079	-0.026	0.079	-0.000	0.079
140	27.169	0.153	-0.010	0.073	-0.003	0.073	-0.002	0.074	-0.001	0.073
150	27.130	0.143	-0.010	0.067	-0.003	0.068	-0.001	0.068	-0.001	0.069
160	27.011	0.135	-0.005	0.063	-0.001	0.063	-0.001	0.064	-0.000	0.064

Razvidna je periodičnost debljinske i visinske strukture jednog dominantnog stabla na Slici 1. Dendrogram debljinskog prirasta Ψ_d i prirasta krošnje Ψ_D prigušeno je gibanje. Dendrogram visinskog prirasta Ψ_h i prirasta dužine debla Ψ_{ld} prisilno je gibanje.

Period 1:2:4 ukazuje na stabilno kvaziperiodično gibanje. Period tri vodi šume u kaos. Karakteristična značajka kaotičnih sustava je njihova ovisnost o početnim uvjetima.

Slika 1. Dendrogram debljinske i visinske strukture hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)Figure 1 Dendrogram of diameter and height structure of pedunculate oak (*Quercus robur* L.)Slika 2. Disipativna struktura širina krošanja hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)Figure 2 Dissipative structure of crown width of pedunculate oak (*Quercus robur* L.)

Disipativna struktura širina krošanja, (Slika 2), pokazuje kako samo predominantna i dominantna stabla izvode periodična gibanja koja mogu doživjeti duboku starost. Neperiodične krošnje na rubu su stabilnosti. Stabla koja su ušla u kaotični period prva umiru.

Praktična spoznaja za određivanje ophodnje. Sastojine koje su u kaotičnom stanju ne mogu izdržati dulje od 100 godina, neperiodične oko 120 godina, periodične oko 140 godina, a sastojine u ravnotežnom stanju mogu doživjeti starost i preko 160 godina.

Razvidna je spoznaja koju je akademik Klepac često isticao:

Hrast lužnjak raste 100 godina, živi 100, i umire 100 godina

Srednje sastojinska stabla ravnotežnih sastojina imaju prosječnu širinu goda 2.54 mm, a u vrijeme prve kulminacije prirasta oko 3.00 mm. Sastojine u periodičnom stanju imaju prosječnu širinu godova oko 2.24 mm, u neperiodičnom oko 2.08 mm, a u kaotičnom ispod 2.00 mm (Slika 3.). Na Slici 4. prikazana je brzina rasta srednje sastojinskih stabala d_s sukladno stanjima sastojina. Kada razvojni tijek srednje sastojinskog stabla padne ispod periodičnog stanja i skreće prema neperiodičnom tada je i potrajno gospodarenje u regresiji. Razvojni tijek srednje sastojinskog stabla d_s model je praćenja potrajnog gospodarenja.

Disipativna struktura, numerički je model praćenja potrajnog gospodarenja šumama.

Tablica 6. Prirasno-prihodne tablice hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) I bonitet – ravnotežno (optimalno) stanje
 Table 6 Yield tables of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) First site class – balanced (optimal) condition

God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj proreda Sum of thinnings	Ukupna produkcija Total production	Postotak tečajnog god. vol. prirasta Percentage of current annual volume increment	Tečajni godišnji volumni prirast Current annual value increment	Poprečni prirast Transversal increment	
	N	d _s	h _s	G	V	N	i	V					Glavne sastojine Principal stands	Sveukupna produkcija Overall production
		cm	m	m ²	m ³		%	m ³						
10	4354	2.32	2.98	1.8	2.9				2.9			0.29	0.29	
						2787	64.0	1.8	1.8		89.74	2.57		
20	1568	6.90	8.96	5.9	26.7				28.5			1.33	1.43	
						485	31.0	8.3	10.1		29.72	7.94		
30	1082	12.70	14.03	13.7	97.8				107.9			3.26	3.60	
						439	40.6	39.7	49.8		10.31	10.08		
40	643	18.71	17.59	17.7	159.0				208.8			3.97	5.22	
						233	36.2	57.5	107.3		6.62	10.53		
50	410	24.41	21.03	19.2	206.8				314.1			4.13	6.28	
						105	25.7	53.0	160.3		5.51	11.39		
60	305	29.72	24.73	21.2	267.6				427.9			4.46	7.13	
						72	23.6	63.1	223.5		4.25	11.38		
70	233	34.78	28.14	22.2	318.3				541.7			4.55	7.74	
						53	22.6	71.9	295.3		3.39	10.79		
80	180	39.76	30.96	22.4	354.2				649.7			4.43	8.12	
						35	19.6	69.6	364.9		2.95	10.44		
90	145	44.78	33.32	22.8	389.2				754.1			4.32	8.38	
						25	17.6	68.3	433.3		2.60	10.12		
100	120	49.86	35.29	23.3	422.0				855.3			4.22	8.55	
						20	16.4	69.4	502.7		2.26	9.55		
110	100	54.99	36.77	23.7	448.1				950.8			4.07	8.64	
						15	15.3	68.7	571.4		1.95	8.72		
120	85	60.14	37.67	24.0	466.5				1037.9			3.89	8.65	
						12	14.0	65.2	636.6		1.65	7.72		
130	73	65.28	37.95	24.4	478.5				1115.1			3.68	8.58	
						10	13.1	62.5	699.2		1.48	7.10		
140	63	70.42	38.00	24.6	486.9				1186.1			3.48	8.47	
						8	12.4	60.3	759.5		1.37	6.66		
150	55	75.55	38.00	24.8	493.2				1252.7			3.29	8.35	
						6	11.7	57.5	817.0		1.28	6.30		
160	49	80.67	38.00	25.0	498.7				1315.7			3.12	8.22	

Razvojni tijek srednje sastojinskih stabala pokazuje univerzalnu zakonitost. Rast i razvoj stabla ili sastojinske debljinske strukture određen je omjerom 2.664 kojim se šire grane hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), a modeliran je koeficijentom otpora rastu k .

Srednji sastojinski prsni promjer ravnotežnih sastojina u centimetrima polovica je starosti sastojine, a optimalna širina krošnje jednaka je desetini starosti sastojine u metrima. Praktična spoznaja o atraktoru stabla i optimalnoj strukturi broja stabala na jednom hektaru površine.

Prigušivanjem krošnje modeliramo stabilne, periodične ili neperiodične sastojine. Kada je otpor rastu k veći od koeficijenta pulsacije ω_{pd} sastojine ulaze u neperiodično i kaotično stanje.

Omjere dužine debla h_{ld} i dužine krošnja h_{lk} kod visinskog rasta 0.533 : 0.467 određuje *eigen*vrijednost 4.669. Razvojni tijek visinskih krivulja po dobnim razredima jednoznačno je određen bifurkacijama za sva vremena.

Tablica 7. Prirasno-prihodne tablice hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) I bonitet – periodično stanje
 Table 7. Yield tables of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) First site class – periodic condition

God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj proreda Sum of thinnings	Ukupna produkcija Total production	Postotak tečajnog god. vol. prirasta Percentage of current annual volume increment	Tečajni godišnji volumni prirast Current annual value incre- ment	Poprečni prirast Transversal increment	
	N	d _S	h _S	G	V	N	i	V					Glavne sastojine Principal stands	Sveukupna produkcija Overall production
		cm	m	m ²	m ³		%	m ³						m ³
10	6686	2.15	2.93	2.4	3.7				3.7				0.37	0.37
						4475	66.9	2.5	2.5		77.80	2.88		
20	2210	6.25	8.73	6.8	30.0				32.5				1.50	1.62
						894	40.4	12.1	14.6		24.61	7.38		
30	1316	11.32	13.67	13.3	91.7				106.3				3.05	3.54
						529	40.1	36.8	51.4		10.18	9.33		
40	788	16.55	17.20	16.9	148.2				199.6				3.70	4.99
						270	34.3	50.8	102.2		6.79	10.06		
50	518	21.56	20.59	18.9	198.0				300.2				3.96	6.00
						143	27.6	54.7	156.9		5.43	10.76		
60	375	26.33	24.20	20.4	250.9				407.8				4.18	6.80
						92	24.5	61.5	218.4		4.29	10.77		
70	283	30.95	27.49	21.3	297.0				515.4				4.24	7.36
						63	22.3	66.1	284.5		3.50	10.38		
80	220	35.52	30.24	21.8	334.8				619.3				4.18	7.74
						44	19.8	66.4	350.9		3.00	10.05		
90	176	40.12	32.53	22.3	368.8				719.7				4.10	8.00
						32	18.1	66.6	417.5		2.61	9.62		
100	144	44.74	34.42	22.7	398.4				816.0				3.98	8.16
						24	16.6	66.0	483.5		2.26	9.02		
110	120	49.38	35.82	23.1	422.6				906.2				3.84	8.24
						19	15.4	65.3	548.8		1.94	8.19		
120	102	54.03	36.64	23.4	439.2				988.1				3.66	8.23
						14	14.2	62.4	611.2		1.65	7.24		
130	87	58.69	36.84	23.6	449.2				1060.4				3.45	8.16
						12	13.3	59.6	670.8		1.51	6.80		
140	76	63.33	37.00	23.9	457.6				1128.4				3.27	8.06
						9	12.4	56.9	727.7		1.38	6.31		
150	66	67.98	37.00	24.1	463.8				1191.5				3.09	7.94
						8	11.7	54.3	782.0		1.29	5.97		
160	59	72.62	37.00	24.3	469.2				1251.2				2.93	7.82

Kompleksni brojevi topološka su dimenzija, a skupovi kompleksnih brojeva fraktalna dimenzija stabala. Skupovi stabala, fraktala, tvore sastojinu. Kompleksne jednadžbe rasta i razvoja sastojinske debljinske i visinske strukture univerzalni su alati za konstrukciju prirasno-prihodnih tablica, itinerer rasta i razvoja šuma u prostoru i vremenu.

U Tablicama 6, 7, 8 i 9 prikazana je disipativna volumna struktura sastojina hrasta lužnjaka kroz prirasno-prihodne tablice.

Sveukupna maksimalna produkcija, odnosno sveukupni maksimalni godišnji etat (E_s) sastoji se od godišnjeg etata glavnog prihoda (E_g) i godišnjeg etata prorede (E_m).

U dobi od 120. godina maksimalni godišnji etat iznosi u sastojinama stanja:

$$\begin{aligned} \text{ravnotežnog} & E_s = E_g + E_m \Rightarrow 3.9 + 4.9 = 8.7 \text{ m}^3/\text{ha} \\ \text{periodičnog} & E_s = E_g + E_m \Rightarrow 3.7 + 4.5 = 8.2 \text{ m}^3/\text{ha} \\ \text{neperiodičnog} & E_s = E_g + E_m \Rightarrow 3.5 + 4.5 = 8.0 \text{ m}^3/\text{ha} \\ \text{kaotičnog} & E_s = E_g + E_m \Rightarrow 3.4 + 4.3 = 7.7 \text{ m}^3/\text{ha} \end{aligned}$$

Tablica 8. Prirasno-prihodne tablice hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) I bonitet – neperiodično stanje
 Table 8 Yield tables of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) First site class – non-periodic condition

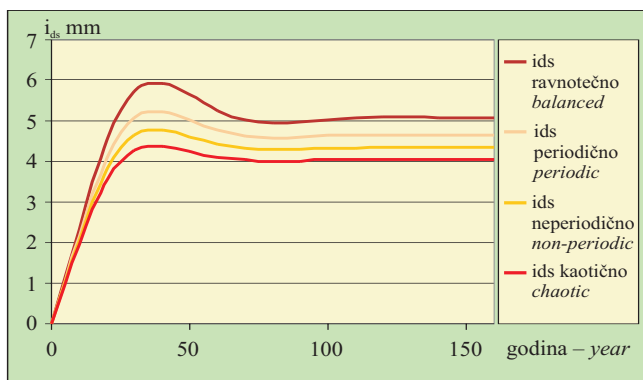
God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj proreda Sum of thinnings	Ukupna produkcija Total production	Postotak tečajnog god. vol. prirasta Percentage of current annual volume increment	Tečajni godišnji volumni prirast Current annual value incre- ment	Poprečni prirast Transversal increment	
	N	d _s	h _s	G	V	N	i	V					Glavne sastojine Principal stands	Sveukupna produkcija Overall production
	cm	m	m ²	m ³	%	m ³		m ³						
10	8416	2.04	2.89	2.7	4.1	5687	67.6	2.8	2.8	4.1	73.92	3.05	0.41	0.41
20	2729	5.85	8.59	7.3	31.8	1205	44.1	14.0	16.8	34.6	22.55	7.18	1.59	1.73
30	1524	10.50	13.45	13.2	89.5	614	40.3	36.1	52.9	106.4	10.00	8.96	2.98	3.55
40	910	15.27	16.95	16.7	143.1	309	33.9	48.5	101.4	196.0	6.84	9.78	3.58	4.90
50	602	19.88	20.32	18.7	192.4	170	28.2	54.3	155.7	293.8	5.41	10.41	3.85	5.87
60	432	24.31	23.86	20.0	242.1	108	25.0	60.5	216.2	397.9	4.30	10.41	4.04	6.63
70	324	28.62	27.10	20.8	285.7	72	22.2	63.5	279.8	502.0	3.54	10.12	4.08	7.17
80	252	32.92	29.79	21.4	323.4	50	20.0	64.7	344.5	603.2	3.01	9.75	4.04	7.54
90	201	37.22	32.04	21.9	356.2	37	18.2	64.8	409.3	700.6	2.62	9.32	3.96	7.78
100	165	41.54	33.88	22.3	384.6	27	16.7	64.2	473.5	793.9	2.26	8.69	3.84	7.94
110	137	45.87	35.22	22.7	407.3	21	15.4	62.7	536.2	880.8	1.93	7.89	3.70	8.01
120	116	50.21	35.99	23.0	423.5	17	14.3	60.6	596.8	959.7	1.63	6.92	3.53	8.00
130	100	54.54	36.14	23.3	432.1	13	13.3	57.7	654.5	1028.9	1.50	6.47	3.32	7.91
140	86	58.88	36.20	23.5	439.2	11	12.5	54.9	709.4	1093.6	1.38	6.06	3.14	7.81
150	75	63.21	36.20	23.7	444.8	9	11.8	52.4	761.8	1154.2	1.29	5.75	2.96	7.69
160	67	67.54	36.20	23.9	449.9					1211.7			2.81	7.57

Akademik D. Klepac je u svojim eksperimentalnim istraživanjima utvrdio za hrast lužnjak maksimalnu produkciju od 7–8 m³/ha. Sveukupna produkcija od 7–8 m³/ha je maksimalni iznos šumske produkcije za hrast u Središnjoj Europi, a u našim ekološkim uvjetima to je iznos koji se postiže redovnim gospodarenjem Klepac (1982, 1996).

Odnos poprečnog prirasta sveukupne produkcije i tečajnog godišnjeg volumnog prirasta prikazan je na Slici

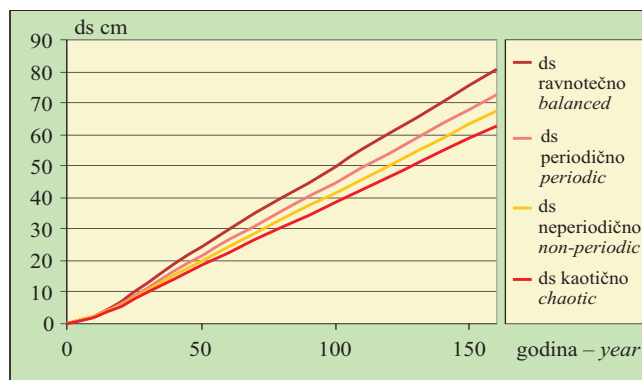
5, iz koje je vidljivo kako se te krivulje sijeku oko godine kada dolazi do druge kulminacije debljinskog prirasta.

U danima prije otkrića kaosa, vrijednosne prosudbe bile su nevažne za znanstvena istraživanja, Sarda i Abrams (1998). Novo, na kaosu utemeljeno, razumijevanje stanja stabilnosti šume zahtijeva novo planiranje potrajnog prihoda u šumarstvu. Takvo planiranje u znanosti naziva se *postnormalna znanost*.



Slika 3. Dvostruka širina goda sukladna stanjima u disipativnoj strukturi

Figure 3 Double annual ring width concordant to the conditions in a dissipative structure



Slika 4. Razvojni tijek prsnih promjera srednje sastojinskih stabala

Figure 4 Developmental course of breast diameters of mean stand trees

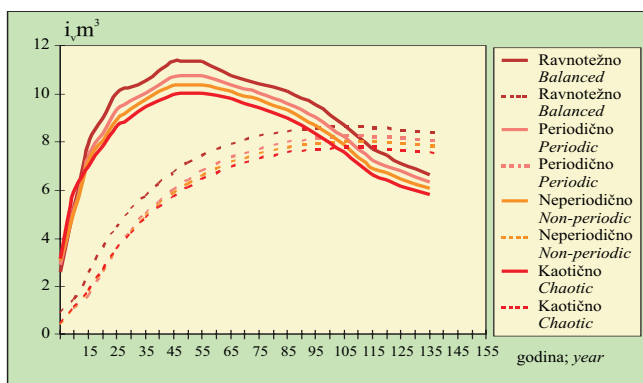
Slika 5. Produkcija disipativnih struktura sjemenjača hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

Figure 5 Production of dissipative structures of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) high forests

U Tablicama 10, 11, 12 i 13 prikazani su modeli, prirasno-prihodne tablice novčane vrijednosti drvnih sortimenata za svako stanje sastojina hrasta lužnjaka.

Sveukupna maksimalna produkcija novčane vrijednosti drvnih sortimenata u kunama, odnosno sveukupna maksimalna vrijednost godišnjeg etata (E_{snv}) sastoji

$$\text{ravnotežnog} \quad E_{snv} = E_{gmv} + E_{pnv} \Rightarrow 2.297 + 1.165 = 3.462 \text{ kn/ha; prirast n.v.} \Rightarrow 9.926 \text{ kn/ha}$$

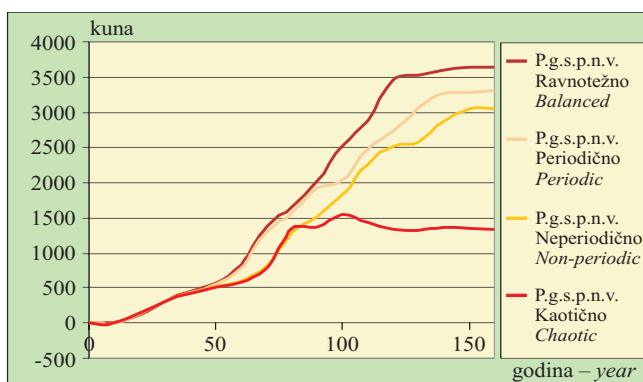
$$\text{periodičnog} \quad E_{snv} = E_{gmv} + E_{pnv} \Rightarrow 1.701 + 1.034 = 2.735 \text{ kn/ha; prirast n.v.} \Rightarrow 6.982 \text{ kn/ha}$$

$$\text{neperiodičnog} \quad E_{snv} = E_{gmv} + E_{pnv} \Rightarrow 1.644 + 883 = 2.527 \text{ kn/ha; prirast n.v.} \Rightarrow 3.104 \text{ kn/ha}$$

$$\text{kaotičnog} \quad E_{snv} = E_{gmv} + E_{pnv} \Rightarrow 610 + 727 = 1.337 \text{ kn/ha; prirast n.v.} \Rightarrow 1.197 \text{ kn/ha}$$

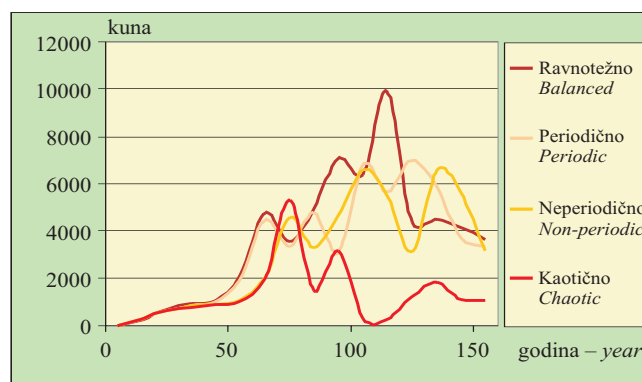
se od vrijednosti godišnjeg etata glavnog prihoda (E_{gmv}) i vrijednosti godišnjeg etata prorede (E_{pnv}).

U dobi od 120. godina novčana vrijednost drvnih sortimenata i prirast vrijednosti u kunama iznosi u sastojinama stanja:



Slika 6. Razvojni tijek poprečnog godišnjeg prirasta novčane vrijednosti

Figure 6 Developmental course of transversal annual increase in monetary values



Slika 7. Tečajni godišnji prirast novčane vrijednosti drvnih sortimenata

Figure 7 Current annual increase in monetary values of wood assortments

Tablica 9. Prirasno-prihodne tablice hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) I bonitet – kaotično stanjeTable 9 Yield tables of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) First site class – chaotic condition

God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj proreda Sum of thinnings	Ukupna produkcija Total production	Postotak tečajnog god. vol. prirasta Percentage of current volume increment	Tečajni godišnji volumni prirast Current annual value incre- ment	Poprečni prirast Transversal increment	
	N	d _S	h _S	G	V	N	i	V					Glavne sastojine Principal stands	Sveukupna produkcija Overall production
		cm	m	m ²	m ³		%	m ³						
10	10523	1.94	2.86	3.1	4.6									
						7242	68.8	3.2	3.2	4.6	68.84	3.17	0.46	0.46
20	3281	5.49	8.47	7.8	33.1									
						1508	46.0	15.2	18.4	36.3	21.20	7.02	1.66	1.81
30	1773	9.75	13.25	13.2	88.2									
						721	40.7	35.9	54.3	106.6	9.80	8.64	2.94	3.55
40	1051	14.11	16.73	16.4	138.7									
						356	33.9	47.0	101.3	193.0	6.81	9.45	3.47	4.82
50	695	18.35	20.07	18.4	186.2									
						200	28.7	53.5	154.8	287.5	5.38	10.02	3.72	5.75
60	495	22.45	23.55	19.6	232.9									
						125	25.1	58.6	213.4	387.7	4.33	10.08	3.88	6.46
70	371	26.48	26.73	20.4	275.2									
						83	22.3	61.5	274.8	488.5	3.56	9.80	3.93	6.98
80	288	30.49	29.39	21.0	311.7									
						58	20.1	62.7	337.5	586.6	3.02	9.42	3.90	7.33
90	230	34.50	31.59	21.5	343.3									
						42	18.3	62.7	400.3	680.8	2.62	9.00	3.81	7.56
100	188	38.53	33.38	21.9	370.5									
						31	16.7	62.1	462.3	770.8	2.26	8.37	3.70	7.71
110	156	42.56	34.68	22.3	392.2									
						24	15.5	60.6	522.9	854.3	1.93	7.58	3.56	7.77
120	132	46.60	35.40	22.6	407.4									
						19	14.3	58.5	581.4	930.3	1.63	6.64	3.39	7.75
130	113	50.64	35.50	22.8	415.3									
						15	13.4	55.6	637.0	996.7	1.48	6.15	3.19	7.67
140	98	54.67	35.50	23.0	421.2									
						12	12.6	52.9	689.9	1058.2	1.38	5.84	3.01	7.56
150	86	58.71	35.50	23.2	426.7									
						10	11.8	50.4	740.3	1116.6	1.29	5.52	2.84	7.44
160	76	62.74	35.50	23.4	431.5									
										1171.8			2.70	7.32

Odnos poprečnog prirasta sveukupne produkcije novčane vrijednosti drvnih sortimenata (Slika 6) i tečajnog prirasta novčane vrijednosti drvnih sortimenata (Slika 7) u kunama pokazuje signifikantne razlike za svako stanje sastojine.

Iz gore navedenog jasno je iskazan porast vrijednosti produkcije koji koindicira s prosječnom stopom rasta od 202.4 % od kaotičnog stanja prema ravnotežnom. Na osnovi Slike 7 razvidno je kako sastojine ravnotežnog stanja postižu maksimalnu kulminaciju tečajnog godišnjeg prirasta vrijednosti u 120. godini,

dok sastojine periodičnog i neperiodičnog stanja imaju dvije kulminacije tečajnog godišnjeg prirasta vrijednosti, s tim da se zadnja kulminacija sastojina periodičnog stanja događa u 130., a neperiodičnog stanja kasnije u 140. godini. Sastojine kaotičnog stanja nakon kulminacije u 80. godini imaju signifikantan silazni trend tečajnog godišnjeg prirasta vrijednosti. Uzimajući u obzir i vrijednosnu produkciju pojedinih stanja sastojina, jasno je kako gospodarenje treba prilagoditi zahtjevima optimizacije produkcije drvnog volumena i vrijednosti, te sposobnosti prirodne obnove sastojina.

Tablica 10. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

I bonitet – ravnotežno (optimalno) stanje

Table 10 Yield tables of monetary values of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) wood assortments.

First site class – balanced (optimal) condition

God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj vrijed- nost proreda <i>Sum of Thinng value</i>	Ukupna vrijed- nost produk- cije <i>Total produ- ction value</i>	Postotak tečajnog god. vol. prirasta <i>Percen- tage of current annual incre- ment value</i>	Tečajni godišnji prirast vrijed- nosti <i>Curent annual value incre- ment value</i>	Poprečni prirast <i>Transversal increment</i>	
	N	d	h	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>	N	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>					Glavne sastojine <i>Principal stands</i>	Sveukupne produk- cije <i>Overall produc- tions</i>
	cm	m	m ³	Kuna	kom	m ³	Kuna	%						
10	4354	2.32	2.98	2.9	5				5			0.5	0.5	
						2787	1.8	3	3			239.6		
20	1568	6.90	8.96	26.7	2398	485	8.3	743	746	2402			119.9	120.1
											29.06	697.0		
30	1082	12.70	14.03	97.82	8625	439	39.7	3501	4247	9371			287.5	312.4
											10.49	905.3		
40	643	18.71	17.59	158.9	14177	233	57.5	5128	9375	18424			354.4	460.6
											7.40	1049.4		
50	410	24.41	21.03	206.8	19543	105	53.0	5014	14389	28918			390.9	578.4
											10.53	2058.5		
60	305	29.72	24.73	267.6	35114	72	63.1	8282	22671	49503			585.2	825.0
											13.48	4733.7		
70	233	34.78	28.14	318.3	74169	53	71.9	16764	39435	96840			1059.6	1383.4
											4.76	3527.0		
80	180	39.76	30.96	354.3	92675	35	69.6	18195	57629	132111			1158.4	1651.4
											5.35	4958.1		
90	145	44.78	33.32	389.2	124062	25	68.3	21790	79419	181692			1378.5	2018.8
											5.70	7067.1		
100	120	49.86	35.29	422.01	172943	20	69.4	28441	107860	252362			1729.4	2523.6
											3.69	6377.4		
110	100	54.99	36.77	448.1	208276	15	68.7	31941	139801	316136			1893.4	2874.0
											4.77	9926.4		
120	85	60.14	37.67	466.5	275599	12	65.2	38545	178346	415400			2296.7	3461.7
											1.59	4372.8		
130	73	65.28	37.95	478.5	280782	10	62.5	36707	215053	459129			2159.9	3531.8
											1.60	4502.5		
140	63	70.42	38.00	486.9	289100	8	60.3	35812	250865	504154			2065.0	3601.1
											1.44	4165.6		
150	55	75.55	38.00	493.2	294945	6	57.5	34407	285272	545810			1966.3	3638.7
											1.24	3650.1		
160	49	80.67	38.00	498,7	297039					582311			1856.5	3639.4

Tablica 11. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

I bonitet – periodično stanje

Table 11 Yield tables of monetary values of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) wood assortments

First site class – periodic condition

God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj vrijed- nost proreda Sum of Thinng value	Ukupna vrijed- nost produk- cije Total produ- ction value	Postotak tečajnog god. vol. prirasta Percen- tage of current annual incre- ment value	Tečajni godišnji prirast vrijed- nosti Curent annual value incre- ment value	Poprečni prirast Transversal increment	
	N	d	h	V	Nov- čana vrijed- nost Mone- tary value	N	V	Nov- čana vrijed- nost Mone- tary value					Glavne sastojine Principal stands	Sveukupne produk- cije Overall produc- tions
	cm	m	m ³	Kuna	kom	m ³	Kuna	%						
10	6686	2.15	2.93	3.7	0				0			0.0	0.0	
20	2210	6.25	8.73	30.0	2697	4475	2.5	0	0	2697		269.7	134.8	134.8
30	1316	11.32	13.67	91.7	8073	894	12.1	1091	1091	9174	24.02	647.7	269.4	305.8
40	788	16.55	17.20	148.2	13220	529	36.8	3245	4336	17556	10.37	838.3	330.5	438.9
50	518	21.56	20.59	198.0	18678	270	50.8	4536	8872	27550	7.56	999.4	373.6	551.0
60	375	26.33	24.20	250.9	32875	143	54.7	5159	14031	46906	10.36	1935.6	547.9	781.8
70	283	30.95	27.49	297.0	69142	92	61.5	8058	22088	91230	13.48	4432.5	987.7	1303.3
80	220	35.52	30.24	334.8	87300	63	66.1	15387	37475	124776	4.85	3354.6	1091.3	1559.7
90	176	40.12	32.53	368.8	117695	44	66.4	17325	54800	172495	5.47	4771.9	1307.7	1916.6
100	144	44.74	34.42	398.4	127334	32	66.6	21253	76053	203387	2.62	3089.2	1273.3	2033.9
110	120	49.38	35.82	422.6	174535	24	66.0	21094	97147	271682	5.36	6829.5	1586.7	2469.8
120	102	54.03	36.64	439.2	204095	19	65.3	26969	124116	328212	3.24	5652.9	1700.8	2735.1
130	87	58.69	36.84	449.2	244929	14	62.4	28989	153105	398034	3.42	6982.3	1884.1	3061.8
140	76	63.33	37.00	457.6	271020	12	59.6	32485	185590	456610	2.39	5857.5	1935.8	3261.5
150	66	67.98	37.00	463.8	274674	9	56.9	33713	219302	493977	1.38	3736.7	1831.2	3293.2
160	59	72.62	37.00	469.2	275693	8	54.2	32168	251470	527163	1.21	3318.6	1723.1	3294.8

Tablica 12. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

I bonitet – neperiodično stanje

Table 12 Yield tables of monetary values of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) wood assortments

First site class – non-periodic condition

God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj vrijed- nost proreda Sum of Thinng value	Ukupna vrijed- nost produk- cije Total produ- ction value	Postotak tečajnog god. vol. prirasta Percen- tage of current annual incre- ment value	Tečajni godišnji prirast vrijed- nosti Curent annual value incre- ment value	Poprečni prirast Transversal increment	
	N	d	h	V	Nov- čana vrijed- nost Mone- tary value	N	V	Nov- čana vrijed- nost Mone- tary value					Glavne sastojine Principal stands	Sveukupne produk- cije Overall produc- tions
10	8416	2.04	2.89	4.1					0					
20	2729	5.85	8.59	31.8	2865	5687	2.8	0	0	2865		286.5	143.3	143.3
30	1524	10.50	13.45	89.5	7881	1205	14.0	1265	1265	9146	21.92	628.1	262.7	304.9
40	910	15.27	16.95	143.1	12789	614	36.1	3175	4440	17229	10.26	808.3	319.7	430.7
50	602	19.88	20.32	192.4	17155	309	48.5	4335	8775	25930	6.80	870.1	343.1	518.6
60	432	24.31	23.86	242.1	22848	170	54.3	4844	13619	36467	6.14	1053.7	380.8	607.8
70	324	28.62	27.10	285.7	37462	108	60.5	5712	19331	56793	8.90	2032.6	535.2	811.3
80	252	32.92	29.79	323.4	75273	72	63.5	8329	27660	102932	12.32	4613.9	940.9	1286.7
90	201	37.22	32.04	356.2	93152	50	64.7	15066	42726	135878	4.38	3294.6	1035.0	1509.8
100	165	41.54	33.88	384.6	122422	37	64.8	16953	59679	182102	4.96	4622.4	1224.2	1821.0
110	137	45.87	35.22	407.3	167904	27	64.2	20426	80105	248009	5.38	6590.1	1526.4	2254.6
120	116	50.21	35.99	423.5	197313	21	62.7	25861	105966	303279	3.29	5527.0	1644.3	2527.3
130	100	54.54	36.14	432.1	200129	17	60.6	28221	134186	334316	1.57	3103.8	1539.5	2571.7
140	86	58.88	36.20	439.2	239088	13	57.7	26716	160902	399990	3.28	6567.4	1707.8	2857.1
150	75	63.21	36.20	444.8	265720	11	55.0	29921	190824	456543	2.36	5655.3	1771.5	3043.6
160	67	67.54	36.20	449.9	263225	9	52.4	31298	222122	487842	1,04	3129.9	1645	3049.0

Tablica 13. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

I bonitet – kaotično stanje

Table 13 Yield tables of monetary values of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) wood assortments

First site class – chaotic condition

God. Year	Glavna sastojina Principal stand					Prorede Thinning			Zbroj vrijed- nost proreda <i>Sum of Thinning value</i>	Ukupna vrijed- nost produk- cije <i>Total produ- ction value</i>	Postotak tečajnog god. vol. prirasta <i>Percen- tage of current annual incre- ment value</i>	Tečajni godišnji prirast vrijed- nosti <i>Curent annual value incre- ment value</i>	Poprečni prirast <i>Transversal increment</i>	
	N	d	h	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>	N	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>					Glavne sastojine <i>Principal stands</i>	Sveukupne produk- cije <i>Overall produc- tions</i>
	cm	m	m ³	Kuna	kom	m ³	Kuna	%						
10	10523	1.94	2.86	4.6										
						7242	3.2					298.1		
20	3281	5.49	8.47	33.1	2981	1508	15.2	1370	1370	2981			149.0	149.0
30	1773	9.75	13.25	88.2	7942	721	35.9	3232	4602	9312	21.24	633.1	264.7	310.4
40	1051	14.11	16.73	138.7	12227	721	35.9	3232	4602	9312	9.46	751.7	264.7	310.4
50	695	18.35	20.07	186.2	16612	356	47.0	4144	8746	16829	6.97	852.8	305.7	420.7
60	495	22.45	23.55	232.9	22002	200	53.5	4774	13519	25357	6.12	1016.4	332.2	507.1
70	371	26.48	26.73	275.2	3607	125	58.6	5533	19052	35522	8.91	1960.7	366.7	592.0
80	288	30.49	29.39	311.7	81109	83	61.5	8062	27114	55128	14.72	5309.5	515.4	787.5
90	230	34.50	31.59	343.3	79952	58	62.7	16310	43424	108223	1.87	1515.4	1013.9	1352.8
100	188	38.54	33.38	370.5	96663	42	62.7	14613	58037	123377	3.92	3132.3	888.4	1370.9
110	156	42.56	34.68	392.2	83555	31	62.1	16191	74227	154700	0.32	308.3	966.6	1547.0
120	132	46.60	35.40	407.4	73246	24	60.6	12916	87143	157782	0.32	260.6	759.6	1434.4
130	113	50.64	35.50	415.3	74702	19	58.5	10511	97654	160389	1.63	1196.7	610.4	1336.6
140	98	54.67	35.50	421.2	83118	15	55.6	10003	107657	172356	2.46	1841.9	574.6	1325.8
150	86	58.71	35.50	426.7	83909	12	52.9	10432	118090	190775	1.35	1122.3	593.7	1362.7
160	76	62.74	35.50	431.5	84468	10	50.4	9910	128000	201998	1.25	1047.0	559.4	1346.7
										212468			527.9	1327.9

5. RASPRAVA – Discussion

Šuma je kompleksni i kaotični nelinearni dinamički sustav. Dinamički sustav je onaj sustav kojem se stanje tijekom vremena mijenja, sukladno s nekim pravilom ili postupkom koji zovemo *dinamika*. Dinamika je pravilo kako od sadašnjeg stanja doći na sljedeće. Priroda je *nelinearna*, i to je neupitna činjenica. Karakteristična osobina sustava što ih proučava kaos je *nestabilno neperiodično* gibanje. Vrlo jednostavni, strogo definirani, matematički modeli mogu pokazivati zatrašujuće složeno ponašanje.

Karakteristična značajka kaotičnih sustava je njihova osjetljiva ovisnost o početnim uvjetima. Infinitesimalno male promjene na početku mogu dovesti do velikih promjena na kraju. To se ponašanje opisuje kao obilježje kaosa. Nelinearni sustavi koje proučava teorija kaosa su kompleksni sustavi, u smislu kako vrlo mnogo nezavisnih varijabli međudjeluju jedna s drugom na bezbroj načina. Ti kompleksni sustavi imaju sposobnost uravnoteživanja reda i kaosa. Točka ravnoteže nazvana je rubom kaosa, gdje je sustav u nekoj vrsti pritajena očekivanja između stabilnosti i kolapsa (Stewart 1996).

Pojam disipativna struktura uveo je belgijski kemičar i fizičar Ilyje Prigogine, kako bi objasnio koherentno ponašanje u sustavima daleko od stanja ravnoteže. Njime se objašnjava uska povezanost između strukture i reda na jednoj i disipacija na drugoj strani. Teorija disipativnih struktura govori o kretanju od reda prema neredu i sve većoj entropiji. Prema drugom zakonu termodinamike, dok entropija raste, energija se gubi ireverzibilno. Rasipanje energije koje je ireverzibilno na molekularnoj razini prati suprotan proces uređenog kaosa na subatomskej razini. Prema Prigoginu, disipativne strukture su otoci reda u moru nereda, održavajući i povećavajući svoj red na način da povećavaju nered svojeg okruženja, Valacco, Internet.

Klasifikacijom strukturnih oblika sastojina Prigogineovom teorijom na *ravnotežno*, *periodično*, *neperiodično* i *kaotično stanje* dobili smo *disipativne šume*. U gospodarskoj jedinici Slavir detektirano je 1004 ha ili 13 % sastojina koje su ušle u kaotično stanje. Kaotično stanje, kada sastojina nema više energije za opstanak i dolazi do spontane uređenosti, *emergencije*, najčešće sušenje hrastika.

Iznenadujuće je kako se 3720 ha ili 48 % sastojina nalazi u neperiodičnom stanju. To je nestabilno stanje na rubu kaosa, kada također može doći do sušenja. Vrijeme je ono što sprječava da se sve dogodi odjednom.

U periodičnom stanju je 1295 ha, t.j. 16 %, a u ravnotežnom samo 621 ili 8 % površine sastojina UR sjemenjače hrasta lužnjaka. Sastojine hrasta lužnjaka u ravnotežnom stanju su pretežno mješovite i s manjim učešćem hrasta lužnjaka u optimalnom obrastu.

Fraktalna dimenzija disipativnih struktura uređenog razreda hrasta lužnjaka prikazana je na Slici 8, a na Slici 9, prikazan je razmjer dobnih razreda. Na karti (Slika 8) vidljiva su područja kaotičnog stanja i nova žarišta kaosa u neperiodičnom području.

Signifikantne su razlike u produkciji i novčanoj vrijednosti drvnih sortimenata za disipativnu strukturu. Sastojine u ravnotežnom stanju pretežno su mlade i ne mogu se uspoređivati sa starijim u periodičnom, neperiodičnom i kaotičnom stanju.

Sastojine u periodičnom stanju za obrast 0.86, prirašćuju 7.10 m³/ha, na prosječnoj zalih 347.7 m³/ha, a novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 156.441 kuna na jednom hektaru.

Sastojine u neperiodičnom stanju za obrast 0.86, prirašćuju 6.71 m³/ha, na prosječnoj zalih 352.2 m³/ha, a novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 162.450 kuna na jednom hektaru.

Sastojine u kaotičnom stanju za obrast 0.80, prirašćuju 5.61 m³/ha, na prosječnoj zalih 352.8 m³/ha, a novčana vrijednost drvnih sortimenata zbog sušenja iznosi 65.048 kuna na jednom hektaru.

Poprečni godišnji prirast sveukupne produkcije u prirasno prihodnim tablicama I boniteta (Tablica 6, 7, 8 i 9) kreće se od 7.7 m³/ha u kaotičnom stanju do 8.7 m³/ha u ravnotežnom stanju. Sastojine koje su ušle u kaotično stanje, ponajprije se moraju predvidjeti za obnovu. Svako daljnje odlaganje propisa glavnog prihoda u sastojinama koje su ušle u kaotično stanje izaziva ekonomske i gospodarske štete, a prirodna obnova je nemoguća.

Propisi etata glavnog prihoda stabilnih i periodičnih sastojina izravno vodi u regresiju potrajno gospodarenje.

U Tablici 14. prikazane su površine, kubici i novčana vrijednost drvnih sortimenata u kunama za kaotično stanje, koja se obavezno moraju predvidjeti za etat glavnog prihoda. Sastojine u neperiodičnom stanju površine 3720 ha kandidati su za sušenje u I/2 polurazdoblju. U propisu glavnog prihoda za gospodarsku jedinicu Slavir nalaze se uz sastojine kaotičnog stanja, dio neperiodičnih, a manji dio u periodičnom stanju.

U Tablici 15. Prikazan je odnos površina i intenziteta prorjeđivanja hrasta lužnjaka sukladno disipativnim stanjima i etata prorjeđivanja propisanog osnovom gospodarenja.

Etat prorjeđivanja u sastojinama ravnotežnog stanja slabijeg je intenziteta zbog manjeg učešća lužnjakovih stabala od optimalnog. Etat prorjeđivanja na jednom hektaru površine podjednak je sa propisom, ali je intenzitet veći za periodično i neperiodično stanje.

Ova analiza o produkciji i novčanoj vrijednosti drvnih sortimenata disipativnih struktura hrasta lužnjaka

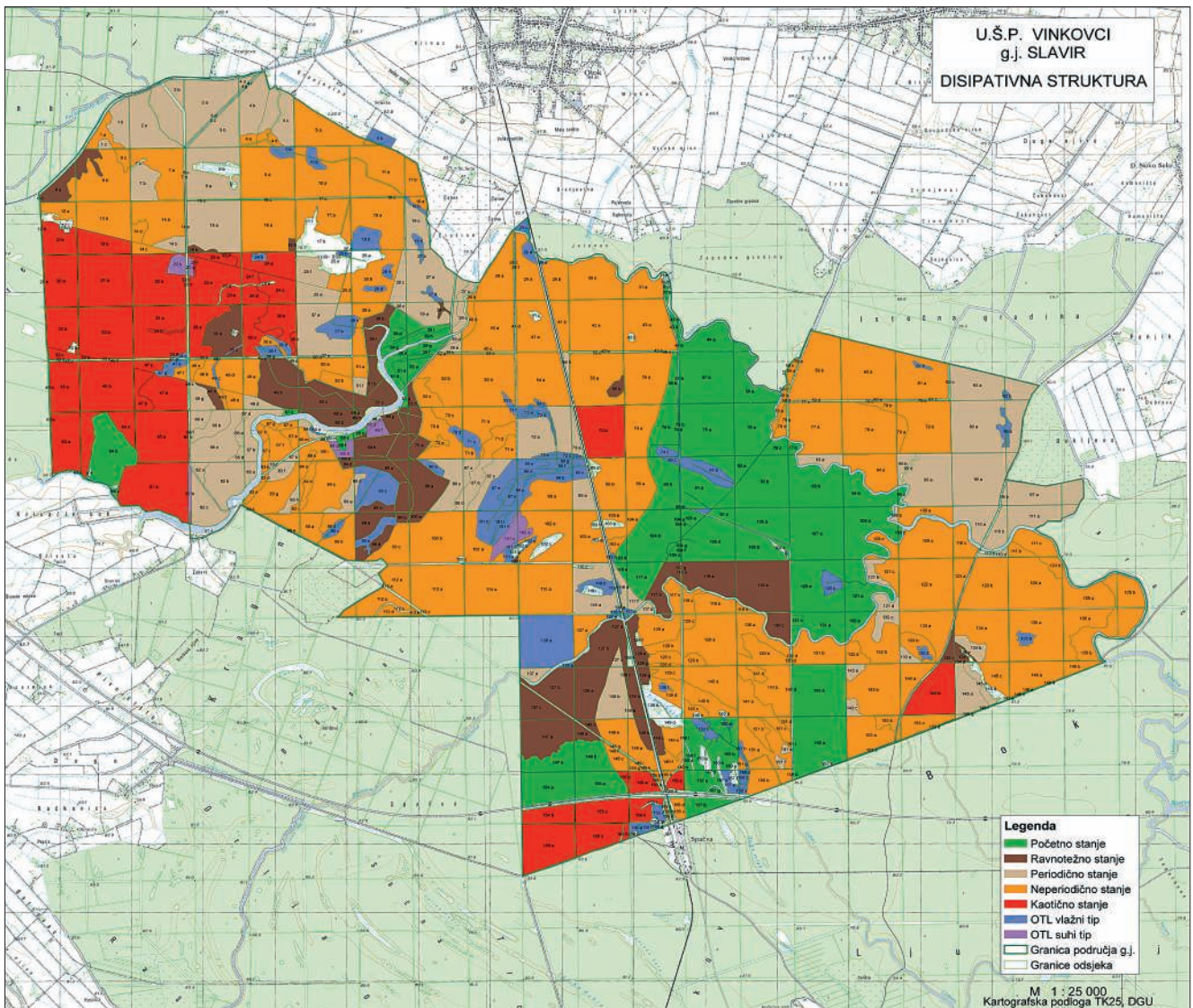
Slika 8. Disipativna struktura sjemenjača hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

Figure 8 Dissipative structure of the management class pedunculate oak high forests

pokazuje kako se ne može postići potrajnost prihoda po uređajnim razredima unutar gospodarske jedinice, već šire na području Spačvanskog bazena ili na šumskogospodarskom području Hrvatskih šuma.

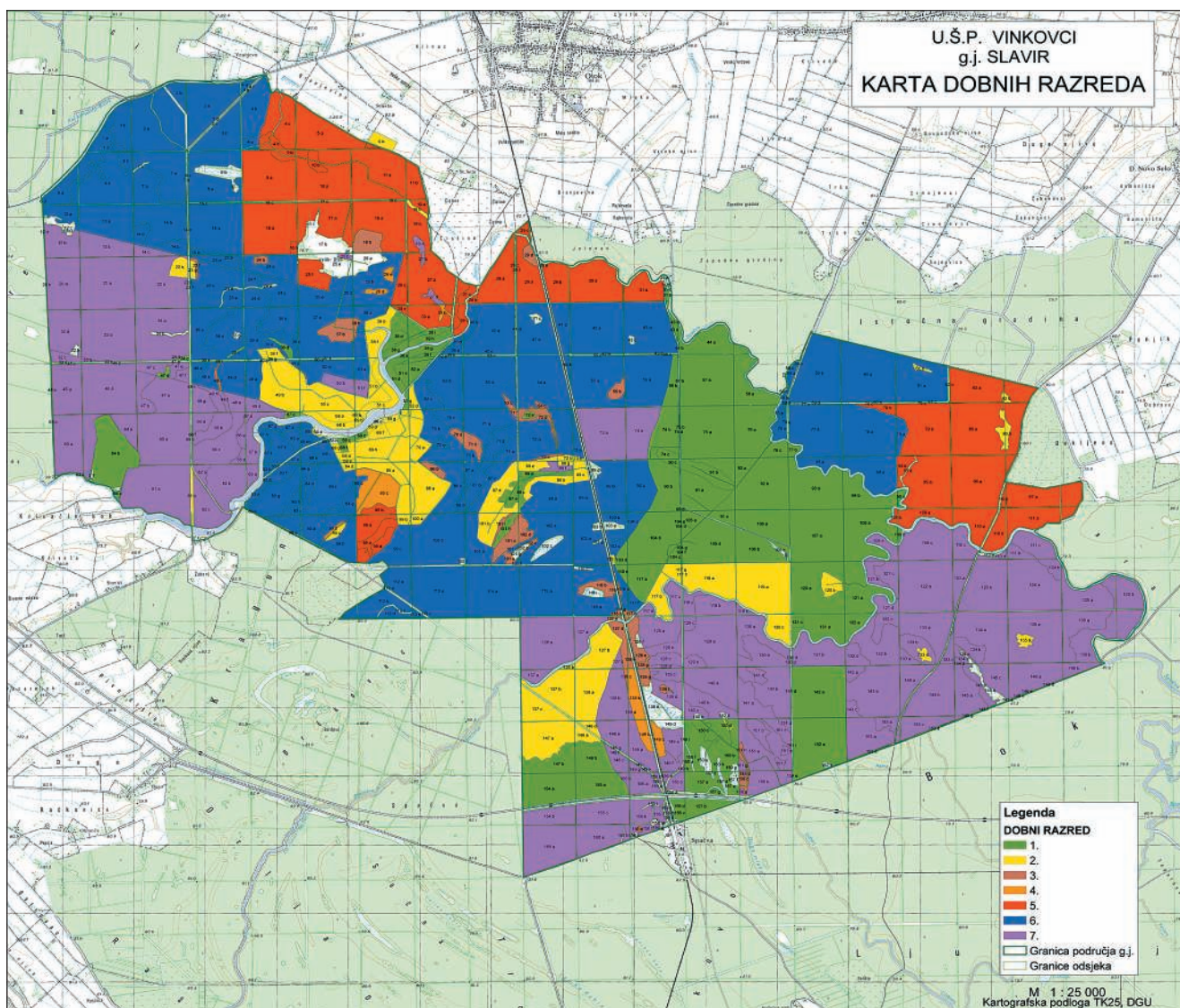
Kako potrajno gospodariti šumama? Samo iskoračkom iz krutog linearnog u fleksibilno i nelinearno dinamičko gospodarjenje.

Samo intenzivnim gospodarjenjem, poznavajući dinamiku rasta svake vrste drveća, njegom sastojina može se skrenuti sadašnje stanje sastojina iz granično nestabilnog u stabilno.

Numeričkim klasificiranjem stanja sastojina na ravnotežne sastojine i one koje su daleko od ravnoteže detektiraju se nestabilne i kaotične sastojine s najmanjom

Tablica 14. Glavni prihod
Table 14 Principal yield

Stanje – Condition	Površine – Areas ha	Glavni prihod Principal yield			Vrijednost u kunama Value in kuna	
		m ³ /ha	Eg m ³	%	N.v./ha M.v./ha	Ukupno kuna Total kuna
Kaotično – Chaotic	1004.18	353.0	354.317	100	3235	68.297.808
Glavni prihod redovne revizije (2004 – 2013) za UR sjemenjače hrasta lužnjaka Principal yield of regular revision (2004 – 2013) for the MU pedunculate oak high forests						
Propis – Regulation	693.28	444.2	208.070	100	-	-



Slika 9. Razmjer dobnih razreda u gospodaskoj jedinici Slavir
 Figure 9 Distribution of age classes in the management unit Slavir

Tablica 15. Prethodni prihod
 Table 15 Intermediate yield

Stanje <i>Condition</i>	Površine <i>Areas ha</i>	Prethodni prihod <i>Intermediate yield</i>		Novčana vrijednost sortimenata <i>Monetary value of assortments</i>		
		Etat prorede m^3/ha	Ukupni etat prorede m^3	Intenzitet %	N.v./ha M.v./ha Kuna	Ukupno Total Kuna
Ravnotežno <i>Balanced</i>	621.29	14.0	8693	11.3	3.235	2.009.752
Periodično <i>Periodic</i>	1294.79	55.0	71930	16.0	16.518	21.387.867
Neperiodično <i>Non-periodic</i>	3720.12	53.6	199677	15.2	21.063	78.356.785
Ukupno <i>Total</i>	5636.20	49.7	280.300	12.8	18.054	101.754.404
Prethodni prihod redovne revizije (2004 – 2013) za UR sjemenjače hrasta lužnjaka <i>Intermediate yield of regular revision (2004 – 2013) for the MU pedunculate oak high forests</i>						
Propis <i>Regulation</i>	5785.39	49.2	284.733	11.0	-	-

produkcijom drvene zalihe i novčane vrijednosti drvnih sortimenata. Takve sastojine ponajprije se predviđaju za obnovu. Sječa periodičnih i stabilnih sastojina vodi potrajno gospodarenje šumama, izravno u regresiju.

Stanje sastojina ključni je kriterij za propisivanje ophodnje i smjernica gospodarenja.

Model optimalne produkcije visokovrijednih trupaca ima iznimnu važnost prihvaćanjem europskih normi kod razvrstavanja trupaca po kakvoći.

6. ZAKLJUČAK – Conclusions

Nakon provedenih opsežnih istraživanja stanja lužnjakovih sastojina u gospodarskoj jedinici “Slavir” mogu se donijeti sljedeći zaključci:

1. Šuma je kompleksni i kaotični nelinearni dinamički sustav.
2. Alati za multi-dimenzijско modeliranje šuma su kompleksne jednadžbe rasta i razvoja šuma.
3. Kompleksne jednadžbe rasta i razvoja šuma univerzalni su alati za numeričko bonitiranje staništa, numeričku prognozu rasta i razvoja šuma, numerički obračun gubitka prirasta i konstrukciju prirasno-prihodnih tablica.
4. Disipativna struktura lužnjakovih sastojina u gospodarskoj jedinici “Slavir” pokazuje signifikatne razlike u volumnoj produkciji i novčanoj vrijednosti drvnih sortimenata.
5. Gospodarenje treba prilagoditi nelinearnoj dinamici raste šuma, zahtjevima optimizacije produkcije drvene mase i vrijednosti, te sposobnosti prirodne obnove sastojina.
6. Teorija o disipativnim strukturama model je detekcije stanja biološke ravnoteže šuma.
7. Fraktalnom dimenzijom može se na kartama prikazati disipativna struktura šume.

7. LITERATURA – References

- Bezak, K., 1992: Prigušene oscilacije fenomena rata i prirasta praćene Levakovićevim analitičkim izrazima, Zbornik o Antunu Levakoviću, HAZU, Centar za znanstveni rad Vinkovci, Posebna izdanja VI: 57–83 Vinkovci.
- Bezak, K., 2002a: Prisilno visinsko rastenje sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), Rad. Šumar. inst. 37 (2): 185–201, Jastrebarsko.
- Bezak, K., 2002b: Modeli sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L) i njihova novčana vrijednost produkcije drvnih sortimenata, Šum. list br. 9–10., 479–487, Zagreb.
- Brown, Pete: Order Out of Chaos – Ilya Prigogine and Isabelle Stengers. Internet: <http://www.lit-tlesputnik.net/trpearce/orderchaos.htm>
- Dodig, S., A. Jakšić, I. Polfero, D. Sušac, 2004: Osnova gospodarenja za gospodarsku jedinicu SLAVIR, (2004 – 2013. godinu), Vinkovci.
- Klepac, D., 1982: Hrastove šume u Slavoniji. Šum. list br. 11/12., Zagreb.
- Klepac, D., 1996: Rast i prirast hrasta lužnjaka; knjiga: Hrast lužnjak (*Quercus robur* L) u Hrvatskoj, HAZU, Centar za znanstveni rad Vinkovci, Vinkovci.
- Meštrović, Š., G. Fabijanić, 1995: Priručnik o uređivanju šuma. Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva; Hrvatske šume, pp 1–416, Zagreb
- Sardar, Z., I. Abrams, 1998: Introducing Chaos. Prjevod Lopac, V., 2001: Kaos. Naklada Jesenski Turk, pp:1–176 str., Zagreb.
- Stewart, I., 1996: Does God play dice? Prijevod, Lopac V., 2003: Kocka li se bog? Nova matematika kaosa. Naklada Jesenski Turk, pp: 1–480, Zagreb.
- Valacco, D.: Suptilne veze holističke znanosti. Internet: http://www.cid-nova.hr/slike/materijali/holistika_1.pdf.

SUMMARY: Forests are chaotic nonlinear dynamic systems, whose condition changes in accordance with the patterns dictated by the laws of nature.

*The authors investigate the dissipative condition, growth rate and production of pedunculate oak stands (*Quercus robur* L.) in the management unit Slavir. They apply the Theory of Nonlinear Dynamical Systems and the Theory of Dissipative Structures in their research. Using complex equations of*

growth and development of diameter and height structures, the authors analyze the condition and speed of growth of pedunculate oak high forests. According to the Theory of Dissipative Structures, stands are classified into the following categories: balanced, periodic, non-periodic and chaotic. Dissipative forests are equilibrium, near-equilibrium and far-from-equilibrium systems.

The concept of dissipative structures, coined by the Belgian chemist and physicist Ilya Prigogine, accounts for the coherent behaviour in far-from-equilibrium systems. This concept explains a close link between structures and order on the one hand and dissipation on the other. The Theory of Dissipative Structures deals with a tendency from order towards disorder and increasing entropy. According to the Second Law of Thermodynamics, while entropy increases, energy is lost irreversibly. Energy dissipation, which is irreversible at the molecular level, is followed by an opposite process of orderly chaos at the subatomic level. According to Prigogine, dissipative structures are islands of order in the sea of disorder. They maintain and increase their order by increasing the disorder of their surroundings.

A map of a dissipative structure of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) high forests was made for the management unit Slavir. Standard height series were constructed for the first site class. Parameters of regression series of current annual diameter increment were obtained by iterations for each particular stand condition. Volume yield tables and tables of monetary values of wood assortments in the first site class were constructed for the dissipative stand structure.

There are significant differences in the production and monetary value of wood assortments for the dissipative structure of pedunculate oak (*Quercus robur* L.).

Young stands aged 20 and less in the phase of first increment culminations, covering areas of 1,204 ha and having a dissipative structure, denote the initial condition.

A characteristic feature of chaotic systems is their sensitive dependence on initial conditions. Even the slightest biotic and abiotic disturbance may cause a nonlinear retroactive effect.

Stands in a balanced condition over 621 ha are predominantly young and cannot be compared to older stands in a periodic, non-periodic and chaotic condition.

The stands in a periodic condition extend over 1,295 ha. Their density is 0.86, the increment amounts to 7.10 m³/ha, the average stock is 347.7 m³/ha and the monetary value of wood assortments is 156,441 kuna per hectare.

The stands in a non-periodic condition cover an area of 3,720 ha. Their density is 0.86, the increment is 6.71 m³/ha, the average stock is 352.2 m³/ha and the monetary value of wood assortments is 162,450 kuna per hectare.

The stands in a chaotic condition cover an area of 1,004 ha. Their density is 0.80, the increment is 5.61 m³/ha and the average stock is 352.8, whereas the monetary value of wood assortments amounts to only 65,048 kuna per hectare due to dieback.

The research results are a pathway to modeling multi-dimensional forest dynamics, which leads to multipurpose and sustainable management.

Key words: complex equations, dendrograms, nonlinear dynamical systems, dissipative structures, sustainable management.