

MODELIRANJE DINAMIKE RASTA I RAZVOJA
SASTOJINA OBIČNE BUKVE (*Fagus sylvatica* L.) U
EKOLOŠKO-GOSPODARSKOM TIPU II-D-11
*MODELLING FOREST DYNAMICS GROWTH AND DEVELOPMENT
STAND OF COMMON BEECH (Fagus sylvatica L.)
IN ECOLOGICAL-MANAGEMENT TYPE II-D-11*

Karlo BEZAK*

SAŽETAK: *Načelo potrajnog gospodarenja šumama temeljni je postulat gospodarenja i razvojne strategije Hrvatskog šumarstva. Takvom gospodarenju preduvjet je poznavanje sveobuhvatne zakonitosti rasta i razvoja šuma. Zakoni rastenja šuma su kompleksne jednadžbe rasta i razvoja sastojinske strukture.*

Istraženi i definirani ekološko-gospodarski tipovi šuma Republike Hrvatske, nezaobilazna su metodološka osnova za modeliranje multidimenzijske dinamike šuma u cilju višenamjenskog i potrajnog gospodarenja.

*Autor istražuju disipativno stanje, brzinu rasta i vrijednosnu produkciju sastojina obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u ekološko-gospodarskom tipu II-D-11. Determinističkim i holističkim pristupom, tijekom istraživanja primjenjuje teoriju determinističkog kaosa i teoriju disipativnih struktura. Kompleksnim jednadžbama rasta i razvoja dubljinske strukture analizira stanje i brzinu rasta sjemenjača obične bukve. Teorijom o disipativnim strukturama klasificira sastojine na: ravnotežne, periodične, neperiodične i kaotične. Disipativne šume, u ravnoteži, blizu ravnoteže i daleko od ravnoteže.*

Teorija disipativnih struktura govori o kretanju od reda prema neredu i sve većoj entropiji. Prema drugom zakonu termodinamike, dok entropija raste, energija se gubi nepovratno. Rasipanje energije koja je nepovratna na molekularnoj razini prati suprotan proces uređenog kaosa na subatomske razini. Prema Prigoginu, disipativne strukture su otoci reda u moru nereda, održavajući i povećavajući svoj red na način kako bi povećali nered svojeg okruženja.

Oslanjajući se na eksperimentalne podatke tipoloških istraživanja, za ekološko-gospodarski tip II-D-11 autor je numerički bonitirao stanište i rekonstruirao pomak visinskih krivulja. Primijenjenom funkcije Schumacher-Hall-a za sekcionirane i procijenjene sortimentne strukture stabla izračunati su parametri volumena krupnog drva i parametri novčane vrijednosti drvnih sortimenata. Iteracijom koeficijenta otpora rastu, dijagnosticirana je stabilnost i klasificirana disipativna struktura bukovih sastojina. Rješenja kompleksnih jednadžbi su kompleksni brojevi koji preslikani u referentni sustav preslikavaju dendrograme u kojima okomiti smjerovi prikazuju amplitude ili multidimenzijske vektore, a vodoravni

*Dr. sc. Karlo Bezak, Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, Lj. F. Vukotinovića 2, Zagreb

smjerovi, prikazuju prostor i vrijeme.

Integracija kompleksnih brojeva daje prirast, a daljnja integracija rast sastojinske strukture. Parametri debljinskog prirasta preslikavaju kompleksni vektorski prostor sastojinske debljinske strukture.

Početni uvjeti, ključni su za razvojni tijek sastojinske debljinske strukture. Njegov, počevši od ponika, mladika, koljika i proredama modeliramo stabilne šume koje će zadovoljiti postavljene ciljeve potrajnog gospodarenja.

Disipativne strukture bukovih sastojina u ekološko-gospodarskom tipu II–D–11 daju podjednaku volumnu produkciju, ali pokazuju signifikantne razlike u produkciji novčane vrijednosti drvnih sortimenata.

Ravnotežne sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.8 m²/ha, volumena 500 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 1061 m³/ha, volumni prirast 9.5 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 8.8 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 250196 kuna/ha, prosječno godišnje 2085 kuna na jednom hektaru.

Periodične sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.6 m²/ha, volumena 486 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 1039 m³/ha, volumni prirast 9.3 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 8.7 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 223035 kuna/ha, prosječno godišnje 1859 kuna na jednom hektaru.

Neperiodične sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.5 m²/ha, volumena 454 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 991 m³/ha, volumni prirast 8.6 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 8.3 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 169392 kuna/ha, prosječno godišnje 1412 kuna na jednom hektaru.

Kaotične sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.5 m²/ha, volumena 424 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 945 m³/ha, volumni prirast 7.9 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 7.9 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 132222 kuna/ha, prosječno godišnje 1102 kuna na jednom hektaru.

Ključne riječi: obična bukva (Fagus sylvatica L.), deterministički kaos, disipativne strukture, kompleksne jednadžbe, dendrogram, potrajno gospodarenje

1. PROBLEM I CILJ ISTRAŽIVANJA – Research matter and objective

Suvremenom uređivanju šuma na tipološkoj osnovi prethodila su temeljita i interdisciplinarna istraživanja. Premjereno je i istraženo oko 3000 primjernih ploha najsačuvanijih prirodnih šuma. U cijeloj Hrvatskoj utvrđeno je do sada 79 ekološko-gospodarskih tipova i podtipova šuma. Na Dinarskom području 38, Panonskom području 30, a na Eumediteranskom i submediteranskom području 11 ekološko-gospodarskih tipova. Izrađene su upute za izradu karte ekološko-gospodarskih tipova gorskog područja (I) (Cestar i dr. 1986), te brdskog i nizinskog područja (II) (Bezák i dr. 1989). Unutar područja primjenjuju se jedinice tipološke klasifikacije: zona tip i

podtip. U Panonskom području nalaze se četiri zone, C, D, E i G. Pod zonom razumijevamo određenu cjelinu sličnih ekoloških i gospodarskih karakteristika, važnih za uspijevanje pojedinih prirodnih vrsta drveća. U zoni D – brdske bukve, utvrđeno je pet ekološko-gospodarskih tipova za koje su konstruirane prirasno-prihodne tablice i date smjernice gospodarenja. Ekološko-gospodarski tip šume i šumskih zemljišta određuje se na temelju geološke podloge, vrsta tla, klime, šumske zajednice, uzgojnih značajki, proizvodnih mogućnosti i vrijednosti sastojine.

Tipologija šuma, metodološka je osnova za izradu dinamičkih multidimenzijskih prognoznih modela, kompleksno višenamjensko i potrajno gospodarenje. Tijekom istraživanja, unutar pojedinih ekološko-gospodarskih tipova uočena je velika varijabilnost sastojinske debljinske strukture.

Cilj je istraživanja, teorijom determinističkog kaosa i teorijom disipativnih struktura istražiti uzroke strukturne varijabilnosti obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) i moguće uzroke propadanja šuma. Totalnom analizom stabala bukve istražiti periode maksimalnih amplituda debljinskog i visinskog prirasta. Kompleksnim jednadžbama rasta i razvoja sastojinske debljinske i visinske strukture obaviti numeričko bonitiranje staništa, konstrukciju visinskih krivulja, standardnih volumnih tablica (*tarifa*) i tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata. Nadalje, izračunati parametre debljinskog prirasta za svako stanje sastojine, te obaviti konstrukciju volumnih prirasno-prihodnih tablica i prirasno-prihodni tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata.

Krajnji je cilj istraživanja, izrada optimalnog modela za vrijednosnu produkciju sortimentne strukture i modela koji osigurava potrajno gospodarenje sastojinama bukve u ekološko-gospodarskom tipu II–D–11.

Teorijom determinističkog kaosa otvorio se prozor razumijevanja dinamike rasta i razvoja šuma, a posebno za kvalitativno i kvantitativno numeričko planiranje u šumarstvu.

2. PODRUČJE I MATERIJAL – Research field and materijal

Područje Bilogore i ekološko-gospodarski tip II–D–11 izabran je zbog provedenih tipoloških istraživanja (Cestar i dr. 1983), te provedenih istraživanja stanja prehrane i rasta obične bukve (Rastovski i Bezak 1994). U gospodarskoj jedinici Mesarica Plavo sekcionirano je i istovremeno procijenjena sortimentna struktura za 124 stabala bukve¹ radi izrade lokalnih volumnih tablica i tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata.

Na istraživanim profilima Bilogore najrasprostranjenija je zajednica *Carici pilosae-Fagetum* i to su najljepše sastojine bukve Panonskog područja. U toj ekološkoj cjelini bilo je postavljeno 38 primjernih ploha, koje su poslužile za opis ekološko-gospodarskih tipova. Jedan od ciljeva tipoloških istraživanja bio je utvrditi normale-prirasno-prihodne tablice za pojedine istraživane ekološke cjeline, kao i najpovoljniju ophodnju.

U ekološko-gospodarskom tipu II–D–11, geološka podloga je les, nastao kao eolski sediment u pleistocenu. Karakteristična zajednica je šuma bukve sa šašem (*Carici pilosae-Fagetum* Pelcer). Tlo je ilimerizirano i smeđe ilimerizirano, luvisol površinski oglejeni i tipični, pseudoglej obronačni, te eutrično smeđe tlo. Tla su vrlo dobrih fizikalnih i kemijskih svojstava. Prema Uputstvima, najpovoljniji sastojinski oblik je jednodobna mješovita jednolična sjemenjača normalnog stanja i raznih stadija. Cilj gospodarenja je proizvodnja trupaca za furnir kitnjaka i ljuštenje bukve, deblje i tanje pilanske oblovine kitnjaka, bukve i običnog graba, te drva za ogrjev.

¹. Ovim putem zahvaljujem mr. sc. Branku Belčiću i Kreši Ružiću dipl. ing. šumarstva, upravitelju šumarije Sokolovac na eksperimentalnim podacima za volumnu i vrijednosnu procjenu bukovih sastojina

Istraživanjima stanja prehrane i rasta obične bukve nastojalo se utvrditi odnos između sadržaja hranjiva u lišću, položaja stabla u sastojini (predominantan, dominantan ili kodominantan) te njegova zavisnost s rastom i prirastom.

Istraživanja položaja stabla u sastojini, trebala su pridonijeti boljem razumijevanju odnosa između korištenja svjetla, atmosferskih prilika, tla i konačno ukupnog korištenja stajbinskih prilika. U sastojinama tog tipa postavljene su tri plohe, starosti oko 100 godina. Na svakoj plohi izabrano je i obilježeno 9 stabala po tri skupine (3 predominantna, 3 dominantna i 3 kodominantna), s kojih su uzeti uzorci lišća za laboratorijska istraživanja. Također, na svakoj plohi oborena su tri stabla, iz svake skupine po jedno stablo, radi analize rasta i prirasta obične bukve.

3. METODA ISTRAŽIVANJA – Research methods

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.

Za izračun parametara volumena krupnog drva i parametara novčane vrijednosti drvnih sortimenata primijenjena je funkcija Schumacher – Hall-a:

$$v = A d^b h^c$$

gdje je v volumen stabla, d prsni promjer, h visina stabla, A , b i c nepoznati parametri koji se procjenjuju na osnovi eksperimentalnih podataka. U tu svrhu sekcionirano je i procijenjena sortimentna struktura 124 modelnih stabala obične bukve.

Modeliranje multidimenzijske dinamike rasta i razvoja bukovih sastojina obavljeno je kompleksnim jednadžbama, (Bezák 2006):

$$\begin{aligned} \text{rasta debljinske strukture } \Psi_d &= A e^{-k t} \sin(\omega_{pd} t - \varphi), \\ \text{rasta visinske strukture } \Psi_h &= A e^{-k t} \sin(\omega_{ph} t - \varphi) - A \sin(\omega_l t) \end{aligned}$$

Simboli u jednadžbama su: Ψ_d – kompleksni brojevi debljinskog rasta; Ψ_h – kompleksni brojevi visinskog rasta; A – valne amplitude, $e = 2.718$ – baza prirodnog logaritma;

k – koeficijent otpora rastu; t – vrijeme; ω_{pd} – koeficijent pulsacije debljinskog rasta;

ω_D – koeficijent pulsacije širenja krošnje; ω_{ph} – koeficijent pulsacije visinske strukture;

$\omega_l = 0.000532793 \text{ god}^{-1}$ – gravitacijska konstanta visinske strukture; φ – fazni prostor rasta.

Periodi maksimalnih amplituda debljinskog i visinskog prirasta dobiveni su analizom stabala. Period maksimalni amplituda debljinskog prirasta obične bukve je 90 godina, visinskog prirasta 56 godina, a period prirasta širina krošanja iznosi 28 godina.

U Tablici 1. prikazani su parametri kompleksnih jednadžbi sastojinske debljinske i visinske strukture obične bukve (*Fagus sylvatica* L.).

Prigušivanjem krošnje modeliramo stabilne, periodične, nestabilne i kaotične sastojine. Koeficijent otpora rastu k jedini je nelinearni član, kojim se jednostavno iteracijama usklađuje brzina rasta modela s brzinom rasta svakog stabla ili sastojine.

Visinska krivulja uređajnog razreda sjemenjača bukve u gospodarskoj jedinici Mesarica Plavo, VI dobnog razreda, u starosti oko 110 godina poslužila je za konstrukciju standardnih visinskih krivulja, jer u toj dobi prestaje visinski rast. Razvojni tijek i pomak visinskih krivulja po dobnim razredima, raspona 10 godina, rekonstruiran je iz visinske analize stabala. Standardne visinske krivulje u EGT: II–D–11 pripadaju I. bonitetnom razredu.

Tablica 1. Parametri sastojinske debljinske i visinske strukture obične bukve
Table 1 Parameters of a stand's diameter and height structure of common beech

Struktura <i>Structure</i>	Parametri debljinske i visinske strukture <i>Parameters of diameter and height structure</i>			
	Amplituda <i>Amplitude</i>	Period <i>Period</i>	Koeficijenti pulsacije <i>Pulsation coefficient</i>	Faza <i>Phase</i>
	A	Godina <i>Year</i>	$\omega_p \text{ god}^{-1}$ $\omega_p \text{ year}^{-1}$	$\varphi \text{ god}^{-1}$ $\varphi \text{ year}^{-1}$
Prsni promjer d cm <i>Breast diameter d cm</i>	5.328	90	0.06569	0.0010
Širina krošnje D m <i>Crown width D m</i>	2.664	28	0.21898	0.2664
Visina stabla h m <i>Tree height h m</i>	8.759	56	0.13139	0.8759

Iteracijama koeficijenta otpora rastu k detektirana su četiri stanja debljinske strukture bukve u EGT: II–D–11. Disipativna struktura sastojina bukve u ravnoteži (optimalna), periodična, neperiodična (nestabilna) i kaotična struktura.

Prirasni nizovi po dobnim razredima dobivaju se istovremeno, kada iteracijama koeficijentom k utvrđujemo stanje sastojina. Iskoristimo li kompleksni vektorski prostor i linearnu relaciju kako je druga derivacija debljinskog rasta srednjeg sastojinskog stabla regresijska konstanta $\Psi_{ds} = a$, pomoću debljinskog rasta d_s i njegovog prirasta i_{ds} koeficijent regresije b izračuna se iz linearnog odnosa:

$$b = (i_{ds} - \Psi_{ds}) / d_s$$

Praktična formula za numeričku procjenu sastojinskog debljinskog prirasta bez bušenja stabala.

Za svako stanje sastojina konstruirane su volumne prirasno-prihodne tablice i tablice novčane vrijednosti drvnih sortimenata. Novčana vrijednost produkcije utvrđena je na temelju udjela drvnih sortimenata u volumenu krupnog drva iznad 7 cm promjera i Cjenika glavnih šumskih proizvoda Hrvatskih šuma društva s ograničenom odgovornošću, Ur.broj DIR-2006-2599/2 od 12 travnja 2006. Primjenjene su cijene na panju, isključeni su troškovi sječe i izrade pa prema tome vrijednosti produkcije drvnih sortimenata imaju ista ograničenja.

Konstrukcija volumnih prirasno-prihodnih tablica i tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata obavljena je metodom opisanom u Šumarskom listu (Bezák 2002).

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Research results

Parametri krupnog drva za običnu bukvu i parametri novčane vrijednosti drvnih sortimenata na panju u kunama, dobiveni su izjednačenjem metodom najmanjih kvadrata, upotrebom Schumacher – Hall-ove funkcije. Parametri, njihove varijance te oblični broj sa standardnim devijacijama prikazani su u Tablici 2.

Za bukvu u EGT: II–D–11 regresijski model izjednačenja volumena Schumacher-Hall-ovom funkcijom glasi:

$$v = 0.000029240 d^{2.09142395} h^{0.9963549}$$

Aritmetička sredina obličnog broja modelnih stabala bukve je 0.5008926, a vrijednosti se kreću od 0.43066 do 0.57113.

Tablica 2. Parametri linije izjednačenja za krupno drvo i novčane vrijednosti drvnih sortimenata
Table 2 Parameters of equalisation line for usable timber and monetary value of wood assortment production

Parametri i oblični broj <i>Parameters and form factor</i>	Vrsta drveća – bukva <i>Tree species – common beech</i>		
	Špiranec	EGT : II-D-11 <i>EMT : II-D-11</i>	
	Volumen krupnog drva <i>Volume of usable timber</i>		Novčana vrijednost <i>Monetary value</i>
	m ³		Kuna/100
Log a od parametra A	- 4.5802929	-4.5339664	-5.1394032
parametar b	2.0500706	2.0914240	3.3499345
parametar c	1.0655305	0.9963549	0.2345135
Varijanca	0,0001277	0.0265256	0.0756905
varijanca a	0.1574115	0.0782032	0.1939237
varijanca b	0.0109493	0.0559532	0.2030510
varijanca c	0.0508198	0.1438156	0.4352154
Meyerov korekcionni faktor f	1.0000001	1.0018670	1.0153057
Log f	0,0000000	0.0008101	0.0065968
oblični broj	0.5150684	0,5008926	
standardna devijacija	0.0023158	0,0342158	
C.V. %	0.4493998	6.8142000	86.2875539

Usporedba Špirančevih tablica (Bezák 2001) i regresijskog modela pokazuje najveće razlike u najtanjim debljinskim stupnjevima, regresijski model daje više podatke do 10%. Međutim, počevši već od 20-og debljinskog stupnja te su razlike manje, regresijski model daje nešto više podatke od drvnogomadnih tablica do 2%. Najveće su razlike, do 4%, u višim graničnim stablima normalne debljinske i visinske distribucije,

Regresijski model dvoulaznih tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata *nvds* obične bukve glasi:

$$nvds/100 = 0.000007370 d^{3.34993452} h^{0.23451351}$$

Zbog programskih rješenja, izračunata vrijednost množi se s 100 kako bi se dobila novčana vrijednost drvnih sortimenata u kunama za svaki prsni promjer i pripadajuću visinu.

Razvojni tijek visinskih krivulja po dobnim razredima jednoznačno je određen bifurkacijama za sva vremena. Obračun lokalnih jednoulaznih volumnih tablica (*tarifa*) za bukvu je jednostavan. Omjere dužine debla h_{ld} i dužine krošanja h_{lk} kod visinskog rasta 0.533 : 0.467 određuje *eigen*vrijednost 4.669.

Parametri prirasnih nizova debljinskog prirasta dobivaju se rješenjem kompleksne jednadžbe debljinskog rasta i razvoja. Dovoljno je poznavati srednji sastojinski prsni promjer d_s i starost sastojine. Iteracijama koeficijenta otpora rastu k odredi se brzina rasta (debljinski prirast) i parametri tečajnog godišnjeg debljinskog prirasta za svaku sastojinu. Jednostavno i brzo, bez bušenja Preslerovim svrdlom, a obračun ne traje dulje od 1 minute. Prirasni nizovi ravnotežnih sastojina imaju viši nivo i blažeg su nagiba, a kaotične sastojine imaju najniži nivo i nagib im je

najstrmiji. U Tablici 3. prikazani su parametri visinskih krivulja Mihajlove funkcije i parametri linearne regresije debljinskog prirasta disipativnih struktura obične bukve u EGT: II-D-11

Iteracijama koeficijenta otpora rastu k u rasponu 0-1 detektiramo sastojine u ravnoteži, periodične, neperiodične i kaotične.

Tablica 3. Parametri visinskog rasta i debljinskog prirasta disipativnih struktura

Table 3 Parameters of height growth and diameter increment of dissipative structures

Godine <i>Years</i>	Parametri visinskog rasta u EGT: II-D-11 <i>Parameters of height growth in EMT: II-D-11:</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>	
	$h = b_0 e^{-b_1/x} + 1.3$ m		$i_d = a + bd$ mm							
God. <i>Year</i>	b_0	b_1	a	b	a	b	a	b	a	b
10	-	-	2.071	0.000	1.971	0,000	1.748	0.000	1.566	0.000
20	21.614	9.119	2.094	0.332	1.895	0.338	1.491	0.351	1.196	0.362
30	28.582	11.143	1.273	0.357	1.095	0.358	0.764	0.360	0.549	0.361
40	33.062	12.785	0.437	0.310	0.355	0.308	0.220	0.303	0.141	0.299
50	29.957	10.051	-0.079	0.252	-0.061	0.249	-0.033	0.243	-0.019	0.238
60	29.965	8.381	-0.257	0.201	-0.190	0.199	-0.092	0.195	-0.047	0.192
70	26.685	2,850	-0.227	0.162	-0.160	0.162	-0.069	0.160	-0.031	0.159
80	28.700	2.652	-0.125	0.135	-0,083	0.136	-0.032	0.136	-0.013	0.136
90	33.172	5.546	-0.033	0.116	-0.022	0.118	-0.007	0.119	-0.003	0.119
100	37.645	8.440	0.016	0.104	0.010	0.105	0.003	0.106	0.001	0.107
110	39.530	10.101	0.030	0.094	0.017	0.095	0.005	0.096	0.001	0.096
120	39.373	10.000	0.024	0.086	0.013	0.072	0.031	0.087	0.001	0.087

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. Kompleksni brojevi topološka su dimenzija, a skupovi kompleksnih brojeva fraktalna dimenzija stabala. Skupovi stabala, fraktala, tvore sastojinu.

Srednje sastojinska stabla ravnotežnih sastojina imaju prosječnu širinu goda oko 2.62 mm, a u vrijeme prve kulminacije prirasta oko 2.94 mm. Sastojine u periodičnom stanju imaju prosječnu širinu godova oko 2.42 mm, u neperiodičnom oko 2.00 mm, a u kaotičnom ispod 1.67 mm (Slika 1.). Na Slici 2. 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, kvalitativni je numerički model praćenja
potrajnog gospodarenja šumama.*

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 obične bukve, a modeliran koeficijentom otpora rastu k .

U Tablicama 4, 5, 6 i 7 prikazana je disipativna volumna struktura sastojina hrasta lužnjaka kroz prirasno-prihodne tablice.

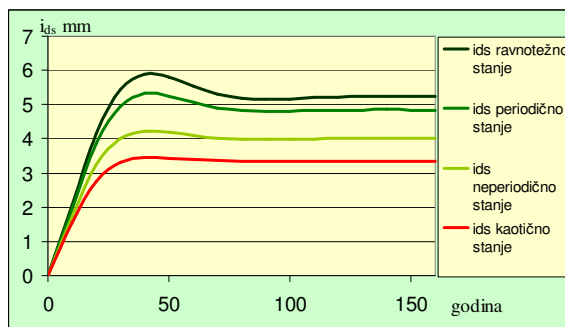
Tablica 4. Prirasno-prihodne tablice obične bukve (*Fagus sylvatica* L.)

EGT: II-D-11 – ravnotežno (optimalno) stanje

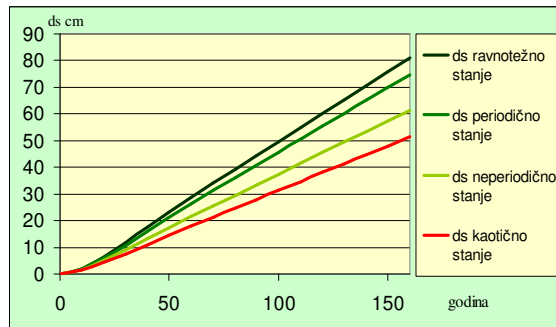
Table 4 Yield tables of common beech (*Fagus sylvatica* L.)

EMT: II-D-11 – balanced (optimal) condition

Glavna sastojina Principal stand						Prorede Thinning			Zbroj proreda Sum of thinnings	Ukupna produkcija Total production	Postotak tečajnog god.vol. prirasta Perce- ntage of current annual volume increment	Tečajni godišnji volumni. prirast Curent annual value increment	Poprečni prirast Transversal increment	
God. Year	N	d _s	h _s	G	V	N	i	V					Glavne sastojine Princi- pal stands	Sveukupna produkcija Overall production
		cm	m	M ²	m ³		%	m ³						
10	3930	2.07	2.16	1.3	1.1					1.1			0.11	0.11
20	2104	6.23	7.30	6.4	20.5	1826	46.5	0.5	0.5	20.9	175.11	1.99	1.02	1.05
30	1291	11.67	12.44	13.8	79.4	813	38.6	7.9	8.4		32.65	6.68		
40	658	17.55	16.35	15.9	124.6	634	49.1	38.9	47.3	87.8	10.60	8.42	2.64	2.93
50	478	23.34	19.65	20.5	197.5	179	27.3	34.0	81.3	171.9	8.58	10.69	3.11	4.30
60	349	28.88	22.94	22.9	262.6	129	27.0	53.4	134.7	278.9	5.99	11.84	3.94	5.58
70	254	34.19	26.11	23.3	309.4	95	27.2	71.5	206.2	397.3	4.51	11.83	4.38	6.62
80	203	39.37	28.87	24.7	367.1	51	20.1	62.2	268.3	515.6	3.87	11.98	4.42	7.37
90	163	44.52	31.14	25.3	410.0	40	19.9	73.1	341.4	635.4	3.16	11.60	4.59	7.94
100	132	46.69	32.92	25.7	443.7	30	18.6	76.3	417.7	751.4	2.68	11.01	4.56	8.35
110	111	54.89	34.21	26.4	478.1	21	15.8	70.1	487.8	861.5	2.35	10.44	4.44	8.61
120	94	60.11	34.96	26.8	500.0	17	15.4	73.5	561.3	965.9	1.99	9.54	4.35	8.78
130	81	65.35	35.1	27.1	512.6	13	14.3	71.4	632.6	1061.3	1.68	8.39	4.17	8.84
140	70	70.58	35.1	27.5	523.5	11	13.1	67.0	699.6	1145.2	1.52	7.79	3.94	8.81
150	61	75.82	35.1	27.8	532.0	9	12.5	65.5	765.1	1223.1	1.41	7.40	3.74	8.74
										1297.1			3.55	8.65



Slika 1. Dvostruka širina goda sukladna stanjima u disipativnoj strukturi
Figure 1 Double annual ring width concordant to the conditions in a dissipative structure



Slika 2. Razvojni tijek prsnih promjera srednje sastojinskih stabala
Figure 2 Developmental course of breast diameters of mean stand trees

Tablica 5. Prirasno-prihodne tablice obične bukve (*Fagus sylvatica* L.)

EGT: II-D-11 – periodično stanje

Table 5 Yield tables of common beech (*Fagus sylvatica* L.)

EMT: II-D-11 – periodic condition

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	
God. Year	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	5584	1.97	2.14	1.7	1.4					1.4			0.14	0.14
20	2583	5.83	7.20	6.9	21.6	3001	53.7	0.8	0.8	22.3	145.25	2.09	1.08	1.12
30	1473	10.79	12.25	13.5	75.7	1110	43.0	9.3	10.0	85.7	29.38	6.34	2.52	2.86
40	820	16.11	16.11	16.7	128.0	653	44.3	33.5	43.6	171.6	11.35	8.59	3.20	4.29
50	567	21.37	19.39	20.3	192.1	253	30.9	39.6	83.1	275.2	8.10	10.36	3.84	5.50
60	409	26.43	22.63	22.4	252.1	158	27.8	53.5	136.6	388.7	5.91	11.35	4.20	6.48
70	304	31.33	25.74	23.4	304.3	105	25.6	64.6	201.2	505.5	4.63	11.67	4.35	7.22
80	238	36.16	28.45	24.5	355.5	66	21.7	65.9	267.1	622.6	3.85	11.71	4.44	7.78
90	191	40.96	30.67	25.1	398.0	48	19.9	70.9	338.0	736.0	3.19	11.35	4.42	8.18
100	156	45.77	32.41	25.7	434.2	35	18.1	72.2	410.2	844.4	2.72	10.84	4.34	8.44
110	130	50.59	33.65	26.2	464.2	26	16.5	71.5	481.7	945.9	2.34	10.15	4.22	8.60
120	110	55.43	34.35	26.6	485.5	20	15.4	71.4	553.1	1038.5	1.99	9.26	4.05	8.65
130	95	60.28	34.43	27.0	497.1	16	14.3	69.3	622.4	1119.5	1.67	8.09	3.82	8.61
140	82	65.13	34.50	27.4	508.4	12	13.2	65.6	687.9	1196.33	1.55	7.68	3.63	8.55
150	72	69.98	34.50	27.6	516.9	10	12.5	63.6	751.5	1268.42	1.42	7.21	3.45	8.46

Tablica 6. Prirasno-prihodne tablice obične bukve (*Fagus sylvatica* L.)

EGT: II-D-11 – neperiodično stanje

Table 6 Yield tables of common beech (*Fagus sylvatica* L.)

EMT: II-D-11 – non-periodic condition

Glavna sastojina Principal stand						Prorede Thinnings			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	
God. Year	N	ds	hs	G	V	N	i	V					Glavne sastojine Principal stands	Sveukupna produkcija Overall production
		cm	m	M ²	m ³		%		m ³		%		m ³	
10	11332	1.74	2.09	2.7	2.2	7078	62.5	1.4	1.4	2.2	108.33	2.38	0.22	0.22
20	4254	4.98	6.95	8.3	24.7	2044	48.0	11.8	13.2	26.0	25.09	6.19	1.23	1.30
30	2210	8.99	11.80	14.0	74.7	919	41.6	31.1	44.3	87.9	11.36	8.48	2.48	2.93
40	1291	13.21	15.55	17.7	128.5	432	33.5	43.0	87.3	172.7	7.62	9.78	3.21	4.32
50	859	17.40	18.76	20.4	183.3	247	28.7	52.6	139.9	270.6	5.81	10.64	3.66	5.41
60	612	21.49	21.90	22.2	237.0	154	25.1	59.6	199.5	376.9	4.69	11.12	3.91	6.28
70	458	25.52	24.88	23.5	288.7	104	22.5	65.2	264.7	488.2	3.84	11.09	4.12	6.97
80	355	29.52	2.46	24.3	334.3	71	20.1	67.1	331.8	599.0	3.21	10.74	4.18	7.49
90	284	33.50	29.56	25.0	374.7	52	18.2	68.4	400.2	706.5	2.74	10.28	4.16	7.85
100	232	37.50	31.19	25.6	409.1	39	16.7	68.4	468.6	809.3	2.33	9.53	4.09	8.09
110	193	41.49	32.31	26.1	436.0	30	15.6	68.1	536.7	904.6	1.97	8.61	3.96	8.22
120	163	45.49	32.89	26.5	453.9	23	14.3	65.0	601.7	990.6	1.65	7.51	3.78	8.26
130	140	49.49	32.90	26.9	464.0	19	13.4	62.0	663.7	1065.7	1.53	7.10	3.57	8.20
140	121	53.49	32.90	27.2	473.0	15	12.5	59.2	722.9	1136.7	1.42	6.74	3.38	8.12
150	106	57.49	32.90	27.5	481.1					1204.0			3.21	8.03

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:

$$\text{ravnotežnog} \quad E_s = E_g + E_m \Rightarrow 4.2 + 4.6 = 8.8 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{periodičnog} \quad E_s = E_g + E_m \Rightarrow 4.1 + 4.6 = 8.7 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{neperiodičnog} \quad E_s = E_g + E_m \Rightarrow 3.8 + 4.5 = 8.3 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{kaotičnog} \quad E_s = E_g + E_m \Rightarrow 3.5 + 4.4 = 7.9 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Empirijska je spoznaja, kako se s različitim brojem stabala, s podjednakim razvojnim tijekom temeljnice postiže podjednaka produkcija, ali novčana vrijednost drvnih sortimenata za svako stanje sastojina, signifikantno je različita.

Tablica 7. Prirasno-prihodne tablice obične bukve (*Fagus sylvatica* L.)

EGT: II-D-11 – kaotično stanje

Table 7 Yield tables of common beech (*Fagus sylvatica* L.)

EMT: II-D-11 – chaotic condition

Glavna sastojina Principal stand						Prorede Thinnings			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	
God. Year	N	ds	hs	G	V	N	i	V					Glavne sastojine Principi- pal stands	Sveukupna produkcija Overall production
		cm	M	M ²	m ³		%	m ³			%		m ³	
10	19406	1.56	2.03	3.7	2.9					2.9			0.29	0.29
20	6590	4.32	6.69	9.7	27.3	12816	66.0	1.9	1.9	29.2	90.39	2.63	1.36	1.46
30	3248	7.64	11.32	14.9	74.9	3342	50.7	13.9	15.8	90.7	22.50	6.14	2.50	3.02
40	1913	11.09	14.95	18.5	126.9	1335	41.1	30.8	46.6	173.5	11.05	8.28	3.17	4.34
50	1259	14.52	18.07	20.9	177.3	654	34.2	43.4	89.9	267.2	7.39	9.37	3.55	5.34
60	891	17.91	21.09	22.4	227.0	368	29.2	51.8	141.7	368.7	5.73	10.15	3.78	6.14
70	664	21.26	23.92	23.6	274.3	227	25.5	57.9	199.7	474.0	4.64	10.53	3.92	6.77
80	513	24.60	26.37	24.4	317.3	150	22.6	62.1	261.8	579.0	3.83	10.51	3.97	7.24
90	409	27.94	28.34	25.1	354.4	104	20.3	64.6	326.3	680.7	3.20	10.16	3.94	7.56
100	333	31.28	29.84	25.6	385.1	76	18.5	65.5	391.8	776.9	2.72	9.62	3.85	7.77
110	277	34.62	30.84	26.1	408.8	56	16.9	65.1	456.9	865.8	2.31	8.88	3.72	7.87
120	234	37.96	31.29	26.5	424.4	43	15.6	63.8	520.7	945.2	1.94	7.94	3.54	7.88
130	200	41.30	31.30	26.8	433.2	34	14.5	61.4	582.1	1015.3	1.65	7.02	3.33	7.81
140	173	44.64	31.30	27.1	440.9	27	13.5	58.5	640.6	1081.5	1.53	6.62	3.15	7.72
150	151	47.99	31.30	27.4	449.0	22	12.4	54.9	695.5	1144.6	1.43	6.31	2.99	7.63

U danima prije otkrića kaosa, vrijednosne prosudbe bile su nevažne za znanstvena istraživanja (Sardar i Abrams 1998). Novo, na kaosu utemeljeno, razumijevanje stanja stabilnosti šume zahtijeva novo planiranje potrajnog prihoda u šumarstvu. Vrijednosna prosudba potrajnog gospodarenja postaje *postnormalna znanost*.

U Tablicama 8, 9, 10 i 11 prikazani su modeli, prirasno-prihodne tablice novčane vrijednosti drvnih sortimenata za svako stanje sastojina bukve.

Tablica 8. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata
obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u EGT: II-D-11 – ravnotežno stanje
Table 8 Yield tables of monetary values of common beech (Fagus sylvatica L.)
wood assortments in EMT: II-D-11 – balanced condition

God. Year	Glavna sastojina <i>Principal stand</i>					Prorede <i>Thinnings</i>			Zbroj vrijednosti proreda <i>Sum of thing values</i>	Ukupna vrijednost produkcije <i>Total production value</i>	Postot. teč.god. prirasta vrijed. <i>Perce- tage of current annual incre- ment value</i>	Tečajni godišnji prirast vrijednosti <i>Current annual Increment value</i>	Poprečna vrijednost <i>Transversal value</i>	
	N	d _s	h _s	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>	N	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary Value</i>					Glavne sasto- jine <i>Prin- cipal stands</i>	Sveu- kupne produkcije <i>Overall produc- tions</i>
		cm	M	m ³	Kuna	kom	m ³	Kuna			%		Kuna	
10	3930	2.07	2.16	1.1	39	1826	0.5	18	18	39	283.76	111.5	3.9	3.9
20	2104	6.23	7.30	20.5	1136	813	7.9	439	457	1154	50.69	575.9	56.8	57.7
30	1291	11.67	12.44	79.4	6457	634	38.9	3169	36256	6914	16.20	1046.3	215.2	230.5
40	658	17.55	16.35	124.6	13752	179	34.0	3753	7378	17377	12.46	1712.9	343.8	434.4
50	478	23.34	19.65	197.5	27128	129	53.4	3729	14707	34506	8.15	2210.6	542.6	690.1
60	349	28.88	22.94	262.6	41905	95	71.5	11407	26114	56613	5.93	2484.2	698.4	943.5
70	254	34.19	26.11	309.4	55340	51	62.2	11116	37230	81454	5.13	2840.3	790.6	1163.6
80	203	39.37	28.87	367.1	72627	40	73.1	14462	51652	109858	4.30	3121.5	907.8	1373.2
90	163	44.52	31.14	410.0	89381	30	76.3	16638	68330	141073	3.77	3374.3	993.1	1567.5
100	132	46.69	32.92	443.7	106486	21	70.1	16810	85140	174816	3.44	3662.1	1064.9	1748.2
110	111	54.89	34.21	478.1	126296	17	73.5	19407	104547	211436	3.07	3876.0	1148.1	1922.2
120	94	60.11	34.96	500.0	145649	13	71.4	20786	125334	250196	2.78	4050.2	1213.7	2085.0
130	81	65.35	35.1	512.6	165365	11	67.0	21604	146938	290698	2.56	4229.6	1272.0	2236.1
140	70	70.58	35.1	523.5	186057	9	65.5	23272	170210	332994	2.37	4413.5	1329.0	2378.5
150	61	75.82	35.1	532.0	206920					377130			1379.5	2514.2

Sveukupna maksimalna produkcija novčane vrijednosti drvnih sortimenata u kunama, odnosno sveukupna maksimalna vrijednost godišnjeg etata (E_{snvds}) sastoji se od vrijednosti godišnjeg etata glavnog prihoda (E_{gnvds}) i vrijednosti godišnjeg etata prorede (E_{pnavds}).

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

ravnotežnog $E_{snvds} = E_{gnvds} + E_{pnavds} \Rightarrow 1214 + 871 = 2085$ kn/ha; prirast n.v. $\Rightarrow 3876$ kn/ha

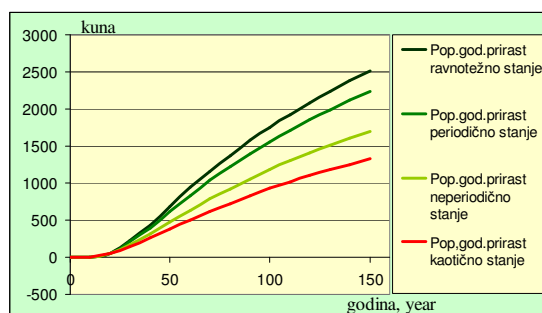
periodičnog $E_{snvds} = E_{gnvds} + E_{pnavds} \Rightarrow 1078 + 781 = 1859$ kn/ha; prirast n.v. $\Rightarrow 3458$ kn/ha

neperiodičnog $E_{snvds} = E_{gnvds} + E_{pnavds} \Rightarrow 813 + 599 = 1412$ kn/ha; prirast n.v. $\Rightarrow 2618$ kn/ha

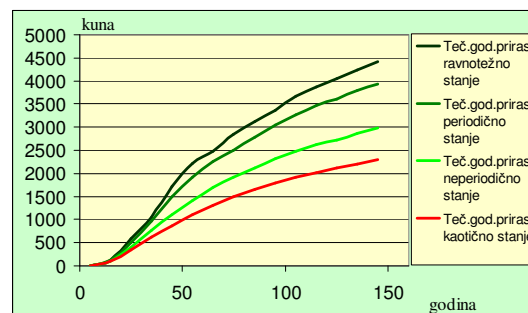
kaotičnog $E_{snvds} = E_{gnvds} + E_{pnavds} \Rightarrow 629 + 473 = 1102$ kn/ha; prirast n.v. $\Rightarrow 2021$ kn/ha

Tablica 9. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata
obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u EGT: II-D-11 – periodično stanje
*Table 9 Yield tables of monetary values of common beech (Fagus sylvatica L.)
wood assortments in EMT: II-D-11 – periodic condition*

Glavna sastojina Principal stand						Prorede Thinings			Zbroj vrijednosti proreda Sum of thing values	Ukupna vrijednost produkcije Total production value	Postot. teč.god. prirasta vrijed. Percentage of current annual incre- ment value	Tečajni godišnji prirast vrijednosti Current annual Increment value	Poprečna vrijednost Transversal value	
God. Year	N	d _s	h _s	V	Nov- čana vrijed- nost Mone- tary value	N	V	Nov- čana vrijed- nost Mone- tary value					Glavne sasto- jine Prin- cipal stands	Sveu- kupne produkcije Overall produc- tions
		cm	M	m ³	Kuna		kom	m ³						
10	5584	1.97	2.14	1.4	0	3001	0.8	477	477	0		111.1	0.0	0.0
20	2583	5.83	7.20	21.6	1111	1110	9.3	2500	2978	1111	45.08	500.8	55.5	55.5
30	1473	10.79	12.25	75.7	5642	653	33.5	3965	6942	6119	17.17	968.6	188.1	204.0
40	820	16.11	16.11	128.0	12828	253	39.6	6641	13583	15806	11.68	1498.9	320.7	395.1
50	567	21.37	19.39	192.1	23852	158	53.5	9318	22901	30795	8.03	1915.8	477.0	615.9
60	409	26.43	22.63	252.1	36370	105	64.6	10745	33646	49953	6.20	2255.3	606.1	832.5
70	304	31.33	25.74	304.3	49605	66	65.9	12746	46392	72506	5.05	2504.7	708.6	1035.8
80	238	36.16	28.45	355.5	63.907	48	70.9	14340	60732	97553	4.36	2788.6	798.8	1219.4
90	191	40.96	30.67	398.0	79047	35	72.2	15657	76389	125439	3.84	3037.8	878.3	1393.8
100	156	45.77	32.41	434.2	95086	26	71.5	17228	93617	155818	3.43	3263.5	950.9	1558.2
110	130	50.59	33.65	464.2	112064	20	71.4	18478	112096	188453	3.09	3458.3	1018.7	1713.2
120	110	55.43	34.35	485.5	129918	16	69.3	19390	131486	223035	2.79	3508.3	1078.5	1858.6
130	95	60.28	34.43	497.1	147023	12	65.6	20693	152178	259119	2.57	3783.9	1130.9	1993.2
140	82	65.13	34.50	508.4	165472	10	63.6	21446	173625	296958	2.38	3938.3	1181.9	2121.1
150	72	69.98	34.50	516.9	184163					336341			1227.7	2242.3



Slika 3. Razvojni tijek poprečnog godišnjeg
prirasta novčane vrijednosti
*Figure 3 Developmental course of transversal
annual increase in monetary values*



Slika 4. Tečajni godišnji prirast novčane
vrijednosti drvnih sortimenata
*Figure 4 Current annual increase in
monetary values of wood assortments*

Tablica 10. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata
obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u EGT: II–D–11 – neperiodično stanje
Table 10 Yield tables of monetary values of common beech (Fagus sylvatica L.)
wood assortments in EMT: II–D–11 – non-periodic condition

God. Year	Glavna sastojina <i>Principal stand</i>					Prorede <i>Thinnings</i>			Zbroj vrijednosti proreda <i>Sum of thinnng values</i>	Ukupna vrijednost produkcije <i>Total production value</i>	Postot. teč.god. prirasta vrijed. <i>Perce- tage of current annual incre- ment value</i>	Tečajni godišnji prirast vrijednosti <i>Current annual Increment value</i>	Poprečna vrijednost <i>Transversal value</i>	
	N	d _s	h _s	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>	N	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>					Glavne sasto- jine <i>Prin- cipal stands</i>	Sveu- kupne produkcije <i>Overall produc- tions</i>
		cm	m	M ³	Kuna	kom	m ³	Kuna			%		Kuna	
10	11332	1.74	2.09	2.2	0	7078	1.4	0	0	0		106.35	0	0
20	4254	4.98	6.95	24.7	1063	2044	11.8	511	511	1063	37.62	400.10	53.2	53.2
30	2210	8.99	11.80	74.7	4553	919	31.1	1893	2404	5065	16.78	764.49	151.8	168.8
40	1291	13.21	15.55	128.5	10305	432	43.0	3450	5855	12709	10.84	1116.69	257.6	317.7
50	859	17.40	18.76	183.3	18022	247	52.6	5175	11030	23876	7.86	1417.52	360.4	477.5
60	612	21.49	21.90	237.0	27022	154	59.6	6791	17820	3852	6.23	1684.33	450.4	634.2
70	458	25.52	24.88	288.7	37075	104	65.2	8377	26197	54895	5.16	1913.40	529.6	784.2
80	355	29.52	2.46	334.3	47831	71	67.1	9600	35798	74028	4.43	2118.75	597.9	925.4
90	284	33.50	29.56	374.7	59418	52	68.4	10841	46639	95216	3.90	2320.24	660.2	1058.0
100	232	37.50	31.19	409.1	71780	39	68.4	12004	58643	118419	3.45	2479.68	717.8	1184.2
110	193	41.49	32.31	436.0	84573	30	68.1	13216	71858	143216	3.09	2617.65	768.8	1302.0
120	163	45.49	32.89	453.9	97534	23	65.0	13963	85821	169392	2.80	2726.91	812.8	1411.6
130	140	49.49	32.90	464.0	110840	19	62.0	14810	100631	196661	2.57	2856.05	852.6	1512.8
140	121	53.49	32.90	473.0	124590	15	59.2	15606	116237	225222	2.39	2978.13	889.9	1608.7
150	106	57.49	32.90	481.1	138766					255003			925.1	1700.0

Odnos poprečnog prirasta sveukupne produkcije novčane vrijednosti drvnih sortimenata (Slika 3) i tečajnog prirasta novčane vrijednosti drvnih sortimenata (Slika 4) u kunama pokazuje signifikantne razlike za svako stanje sastojine.

Tablica 10. Prirasno-prihodna tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata
obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u EGT: II–D–11 – kaotično stanje
Table 10 Yield tables of monetary values of common beech (Fagus sylvatica L.)
wood assortments in EMT: II–D–11 – chaotic condition

Glavna sastojina <i>Principal stand</i>						Prorede <i>Thinings</i>			Zbroj vrijednosti prorada <i>Sum of thing values</i>	Ukupna vrijednost produkcije <i>Total production value</i>	Postot. teč.god. prirasta vrijed. <i>Percentage of current annual incre- ment value</i>	Tečajni godišnji prirast vrijednosti <i>Current annual Increment value</i>	Poprečna vrijednost <i>Transversal value</i>	
God. Year	N	d _s	h _s	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>	N	V	Nov- čana vrijed- nost <i>Mone- tary value</i>					Glavne sasto- jine <i>Prin- cipal stands</i>	Sveu- kupne produkcije <i>Overall produc- tions</i>
		cm	m	m ³	Kuna			kom						
10	19406	1.56	2.03	2.9	0	12816	1.9	0	0	0		98.85	0	0
20	6590	4.32	6.69	27.3	988	3342	13.9	501	501	988		334.52	49.4	49.4
30	3248	7.64	11.32	74.9	3832	1335	30.8	1575	2076	4334	33.84	615.92	127.7	144.5
40	1913	11.09	14.95	126.9	8416	654	43.4	2876	4953	10493	16.07	873.80	210.4	262.3
50	1259	14.52	18.07	177.3	14278	368	51.8	4173	9126	19231	10.38	1106.7	285.6	384.6
60	891	17.91	21.09	227.0	21172	227	57.9	5403	14529	30298	7.75	1307.46	352.9	505.0
70	664	21.26	23.92	274.3	28844	150	62.1	6531	21061	43373	6.18	1490.38	412.0	619.6
80	513	24.60	26.37	317.3	37216	104	64.6	7573	28633	58277	5.17	1654.09	465.2	728.5
90	409	27.94	28.34	354.4	46184	76	65.5	8532	37166	74818	4.44	1797.89	513.2	831.3
100	333	31.28	29.84	385.1	55630	56	65.1	9410	46577	92796	3.89	1921.14	556.3	928.0
110	277	34.62	30.84	408.8	65431	43	63.8	10207	56783	112008	3.45	1921.14	594.8	1018.2
120	234	37.96	31.29	424.4	75439	34	61.4	10918	67701	132222	3.09	2021.44	628.7	1101.8
130	200	41.30	31.30	433.2	85589	27	58.5	11552	79253	153290	2.79	2106.79	658.4	1179.2
140	173	44.64	31.30	440.9	96072	22	54.9	11965	91218	175325	2.57	2203.45	686.2	1252.3
150	151	47.99	31.30	449.0	107178					198396	2.40	2307.12	714.5	1322.6

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. Šuma je nelinearni sustav, i to je neupitna činjenica. Karakteristična osobina sustava što ih proučava kaos je nestabilno neperiodično gibanje. Vrlo jednostavni, strogo definirani, matematički modeli mogu pokazivati zastrašujuće 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. Početno stanje su sastojine stare do cca 20 godina. Početni uvjeti,

period prve kulminacije visinskog i debljinskog prirasta kada njegom usmjeravamo sastojine prema ravnotežnom stanju. I najmanji biotički ili abiotički poremećaj, zahvat u njezi ili izostanak njege mogu usmjeriti sastojinu prema nestabilnom stanju. Dolazi do nelinearnog povratnog učinka, najčešće sušenja.

Prvi holistički razrađeni opis samoorganizirajućih sustava bila je teorija disipativnih struktura belgijskog kemičara Ilya Prigogine, (Brown, intranet) koji razlikuje sustave u ravnoteži, blizu ravnoteže i daleko od ravnoteže. Sustav koji je daleko od ravnoteže ulazi u kaotični period, mijenja se u različitu razinu spontane uređenosti, samoorganizacije. U sustavima daleko od ravnoteže tvar se reorganizira. Tu vidimo prijelaz između nereda, toplinskog kaosa u red. Mogu nastati nova dinamička stanja tvari, stanja koja su odraz interakcije danog sustava s njegovom okolinom. Prigogine je te strukture nazvao disipativnim (rasipnim) strukturama jer zahtijevaju više energije za opstanak. Općenito, disipativne strukture uključuju proces prigušenja. Kada sustav koji je daleko od ravnoteže uđe u kaotični period, mijenja se u različitu razinu spontane uređenosti samoorganizacije. Šuma je otvoreni sustav koja mora trošiti energiju kako bi se održala. Povećanje broja vrsta drveća u sastojini i povećanje broja veza među njima, povećava kako njezinu kompleksnost tako i stupanj nestabilnosti. Podstojna i kodominantna stabla crpe više hranjiva iz tla jer im je potrebno više energije za opstanak. Veći broj stabala u svim stadijima razvitka, na jedinici površine, traži više energije nego što mu stanište može dati. Takvo stanje usporava rast debljinske strukture i dolazi do nelinearnog povratnog učinka.

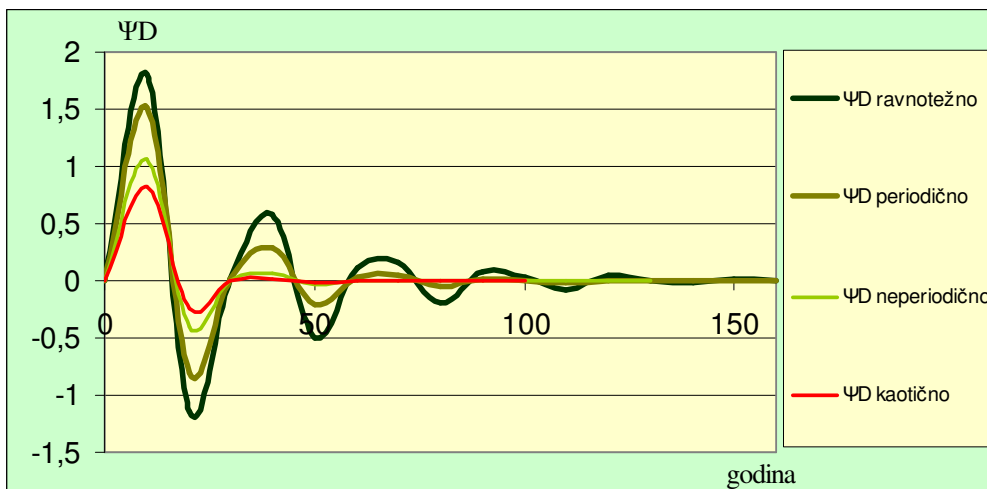
Tu spoznaju potvrđuju i rezultati istraživanja prehrane koji su provedeni za taj ekološko-gospodarski tip. Sadržaj hranjiva u lišću, prati sadržaj hranjiva u tlu, a što je utvrđeno laboratorijskom kvantifikacijom makroelemenata. Obzirom na položaj stabla u sastojini, utvrđene su razlike između predominantnih, dominantnih i kodominantnih stabala u sadržaju pojedinih biogenih elemenata u lišću, pa su tako na većini primjernih ploha predominantna stabla najbolje opskrbljena hranjivima (Tablica 12). Ipak, na nekim objektima kodominantna stabla kao i stabla iz podstojne etaže, sadrže više koncentracije hranjiva u lišću.

Tablica 12. Koncentracija hranjiva u lišću bukve u EGT: II–D–11

Table 12 Nutrient concentration in beech stand in EMT: II–D–11

Položaj stabla u sastojini <i>Tree position at the site</i>	Koncentracija hranjiva u lišću <i>Nutrient concentration in beech stand</i>							
	%					Mg/1g		
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
Predominantna stabla <i>Predominant trees</i>	1.81	0.150	0.94	1.26	0.290	136	1080	43
Dominantna stabla <i>Predominant trees</i>	1.69	0.131	0.68	1.35	0.226	144	1007	45
Kodominantna stabla <i>Codominant trees</i>	1.64	0,139	0.67	1.17	0.266	115	1312	28

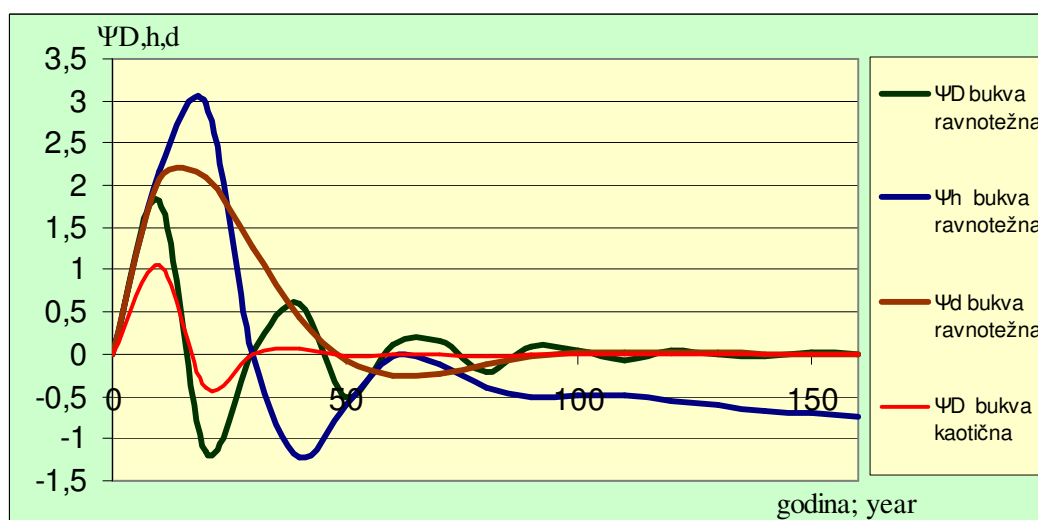
Rješenja kompleksnih jednadžbi su kompleksni brojevi koji preslikani u koordinatni sustav prikazuju dendrograme debljinske i visinske strukture. Okomiti smjerovi prikazuju amplitude ili multi-dimenzionalne vektore, a vodoravni smjerovi prikazuju prostor i vrijeme.



Slika 5. Disipativna struktura širina krošanja obične bukve
 Figure 5 Dissipative structure of crown width of common beech

Disipativna struktura širina krošanja, (Slika 5), pokazuje kako samo predominantna i dominantna stabla izvide 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. Bukove sastojine koje su u kaotičnom stanju ne mogu izdržati dulje od 90 godina, neperiodične oko 100 godina, periodične oko 120 godina, a stabilne sastojine u ravnotežnom stanju mogu doživjeti starost i preko 120 godina. Podržavanje nestabilnih i kaotičnih sastojina, iz gospodarskih i ekonomskih razloga je nedopustivo.

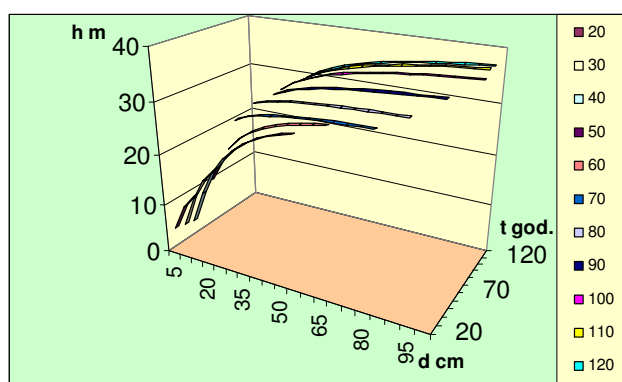


Slika 6. Dendrogram debljinske i visinske strukture obične bukve (*Fagus sylvatica* L.)
 Figure 6 Dendrogram of diameter and height structure of common beech (*Fagus sylvatica* L.)

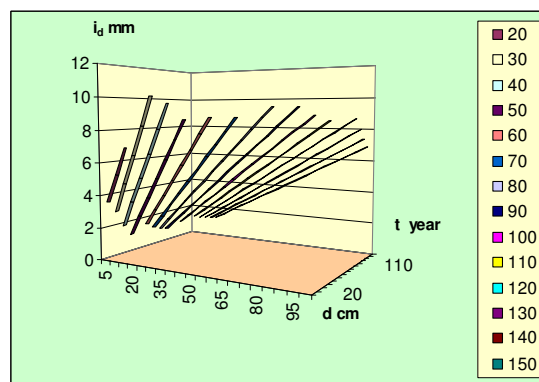
Razvidna je periodičnost debljinske i visinske strukture jednog dominantnog stabla, na Slici 6. Dendrogram debljinskog prirasta Ψ_d i prirasta krošnje Ψ_D prigušeno je gibanje, a dendrogram

visinskog prirasta Ψ_h prisilno je gibanje. Razvidna je valna dužina prirasta širenja krošnje 28 godina, 56 godina visinskog prirasta i 90 godina debljinskog prirasta.

Fazna ravnina u dendrogramu (Slika 6) pokazuje topološku vrijednost 0, bifurkaciju oko 30. godine starosti sastojine, a potom minimalnu amplitudu visinskog rasta, a u isto vrijeme drugi maksimum širenja krošanja i neznatni debljinski prirast. Vrlo važna spoznaja za intenzitet prореde, zadnji moment kada još uvijek možemo modelirati sastojinu. Pravovremenim otvaranjem sklopa pogodujemo širenju krošnje i debljinskom rastu. U to vrijeme, visinski rast je minimalan. Tu se nalazi odgovor za pojavu neznatnog pomaka visinskih krivulja između 40. i 50. godine starosti sastojine.



Grafikon 7. Model prostorno-vremenskog razvoja visina
Graph 7 Model of spatial-temporal of development of heights



Grafikon 8. Kompleksni vektorski prostor debljinskog prirasta
Graph 8 Complex vector space diameter increment

Na Slici 7. razvidan je intenzivni pomak u vrijeme prve kulminacije prirasta, preklapanje sastojinskih visinskih krivulja tijekom pada visinskog prirasta, ubrzan pomak tijekom druge kulminacije, usporen do cca 110. godine, a potom dolazi do inverzije visinskih krivulja.

Na Grafikonu 8. prikazan je kompleksni vektorski prostor sastojinskog debljinskog prirasta obične bukve (*Fagus sylvatica* L.). Razvidna je dinamika razvojnog tijeka sastojinskog tečajnog godišnjeg debljinskog prirasta po dobnim razredima raspona starosti deset godina. Intenzivan je pomak prirasnog niza tijekom prve kulminacije i ravnomjerniji tijekom druge kulminacije debljinskog prirasta. Uravnotežen za dominantna stabla, a kaotičan za podstojna i prigušena stabla. Povećanjem debljinskog prirasta srednje sastojinskog stabla za samo desetinku milimetara, povećava se godišnja vrijednost produkcije na jednom hektaru za cca 100 kuna, a prirast novčane vrijednosti za cca 180 kuna.

Prirasno-prihodne tablice za disipativna stanja pokazuju podjednaku volumnu produkciju, ali pokazuju i signifikantnu razliku vrijednosne produkcije. Razlika maksimalne godišnje sveukupne produkcije između ravnotežnih i kaotičnih sastojina iznosi u volumenu samo 0.9 m³/ha, a razlika novčane vrijednosti drvnih sortimenata iznosi 983 kn/ha, zaokruženo cca 1000 kuna godišnje na jednom hektaru površine.

Normale/prirasno-prihodne tablice ekološko-gospodarskog tipa II-D-11 za čiste bukove sjemenjače konstruirane su na temelju izmjera tijekom 1969. do 1977. godine (Bezак i dr. 1988). Konstrukcija je obavljena klasičnom metodom na temelju izmjerenih debljinskih distribucija, izmjerenih širina krošanja, visina i izmjerenog debljinskog prirasta metodom izvrtaka. Dano je

prosječno stanje za to vrijeme, a koje se približava nestabilnom stanju ($k = 0.062$) u disipativnoj strukturi bukovih sastojina (Tablica 8).

Kvalitativna i numerička procjena stanja sastojina i procjena budućeg razvoja svakog odsjeka, grupe odsjeka, ekološko-gospodarskog tipa ili gospodarske jedinice može se jednostavno i brzo obaviti kompleksnim jednadžbama. Za svaki odjel/odsjek mogu se izraditi kvalitativni modeli kojim bi se uskladila dinamika rasta i razvoja svake vrste drveća u prostoru i vremenu. Levakovićeva funkcija o analitičkom izražavanju sastojinske strukture (Hren 1979) najpodesnija je za praćenje sadašnjeg stanja i prognozu budućeg. Izravnatim vrijednostima debljinske distribucije prsnih promjera sadašnjeg stanja, kompleksnim jednadžbama prognoziramo buduću normalnu distribuciju, a razlika broja stabala daje strukturu i intenzitet prorede (Hren i dr., 1988).

Za svaku sastojinu može se kompleksnim jednadžbama detektirati disipativna struktura, utvrditi volumna produkcija i produkcija novčane vrijednosti drvnih sortimenata. U debljinskoj strukturi svake sastojine bilo kojeg stadija razvitka može se prepoznati disipativna struktura. Predominantna stabla su u ravnotežnom stanju, dominantna u periodičnom stanju, srednje sastojinska (kodominantna) stabla u neperiodičnom (nestabilnom stanju), a podstojna i prigušena stabla su u kaotičnom stanju. Kaotična stabla nemaju više energije za opstanak i dolazi do nelinearnog povratnog učinka, što će reći sušenja. Umjesto da se okularno procjenjuje osutost krošnje, praktično se može za svaku vrstu drveća, svaki odjel/odsjek numerički dijagnosticirati stanje vitalnosti i produkcije, te kartografski prikazati.

Svjetska monetarna ekonomija je disipativna, disipativna je ekonomija Europske Unije, disipativna je ekonomija Republike Hrvatske, a ekonomija Hrvatskog šumarstva ovisi o disipativnoj strukturi šuma.

Kako potrajno gospodariti šumama? Samo iskorakom iz krutog linearnog u fleksibilno i nelinearno dinamičko gospodarenje.

Samo spoznajom sveobuhvatne zakonitosti rastenja šuma, dijagnozom stanja, poznavajući dinamiku rasta svake vrste drveća, njegovom sastojina može se skrenuti sadašnje stanje sastojina iz granično nestabilnog u stabilno.

6. ZAKLJUČAK – Conclusions

Načelo potrajnog gospodarenja šumama temeljni je postulat gospodarenja i razvojne strategije Hrvatskog šumarstva. Takvom gospodarenju preduvjet je poznavanje fundamentalnih zakona prirode. Zakoni rastenja šuma su kompleksne jednadžbe rasta i razvoja sastojinske strukture.

Istraženi i definirani ekološko-gospodarski tipovi šuma Republike Hrvatske, nezaobilazna su metodološka osnova za modeliranje multidimenzionalne dinamike šuma u cilju višenamjenskog i potrajnog gospodarenja.

Kompleksne jednadžbe univerzalni su alati za numeričko bonitiranje staništa, konstrukciju visinskih krivulja, jednoulaznih volumnih tablica, numeričko utvrđivanje stanja vitalnosti stabla ili sastojine, prognozu razvoja sastojinske debljinske strukture, prognozu visinskog i volumnog prirasta, konstrukciju volumnih prirasno-prihodnih tablica te konstrukciju prirasno-prihodnih tablica novčane vrijednosti drvnih sortimenata.

Za izradu prognoznih modela potrajnog gospodarenja potrebna je izrada lokalnih ili tipoloških dvoulaznih volumnih tablica, uz istovremenu procjenu sortimentne strukture.

Disipativne strukture bukovih sastojina u ekološko-gospodarskom tipu II–D–11 daju podjednaku volumnu produkciju, ali pokazuju signifikantne razlike u produkciji novčane vrijednosti drvnih sortimenata.

Stabilne sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.8 m²/ha, volumena 500 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 1061 m³/ha, volumni prirast 9.5 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 8.8 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 250196 kuna/ha, prosječno godišnje 2085 kuna na jednom hektaru.

Periodične sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.6 m²/ha, volumena 486 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 1039 m³/ha, volumni prirast 9.3 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 8.7 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 223035 kuna/ha, prosječno godišnje 1859 kuna na jednom hektaru.

Neperiodične sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.5 m²/ha, volumena 454 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 991 m³/ha, volumni prirast 8.6 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 8.3 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 169392 kuna/ha, prosječno godišnje 1412 kuna na jednom hektaru.

Kaotične sastojine u starosti 120 godina, temeljnice 26.5 m²/ha, volumena 424 m³/ha, imaju ukupnu produkciju 945 m³/ha, volumni prirast 7.9 m³/ha, prosječni godišnji prirast sveukupne produkcije 7.9 m³/ha, a ukupna novčana vrijednost drvnih sortimenata iznosi 132222 kuna/ha, prosječno godišnje 1102 kuna na jednom hektaru.

Ekonomija Hrvatskog šumarstva i drvne industrije ovisi o disipativnoj strukturi šuma.

7. LITERATURA – References

- Bezak K., Cestar D., Hren V., Kovačević Z., Martinović J., Pelcer Z., 1989: Uputstvo za izradu karte ekološko-gospodarskih tipova brdskog i nizinskog područja (II) SR Hrvatske, Rad. Šumar. inst. 24 (79): 1-119, Zagreb.
- Bezak K., 2001: Parametri Špirančevih drvnogromadnih tablica za krupno drvo hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), hrasta kitnjaka (*Quercus petrae* L.) i bukve (*Fagus sylvatica* L.). Šum. list br. 1-11., 635-640, Zagreb.
- Bezak K., 2002: Modeli sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L) i njihova novčana vrijednost produkcije drvnih sortimenata, Šum. list br. 9-10., 479-487, Zagreb.
- Bezak, K., 2006: Modeliranje multidimenzijske dinamike šuma. Rad. Šumar. inst. 41 (1-2): 57-63, Jastrebarsko.
- Brown, Pete: Order Out of Chaos – Ilya Prigogine and Isabelle Stengers. Internet: <http://www.littlesputnik.net/trpearce/orderchaos.htm>
- Cestar D., Hren V., Kovačević Z., Martinović J., Pelcer Z., 1983: Ekološko-gospodarski tipovi šuma područja Bilogore. Radovi 57, 1-96, Zagreb;
- Cestar D., Hren V., Kovačević Z., Martinović J., Pelcer Z., 1986: Uputstvo za izradu karte ekološko-gospodarskih tipova gorskog područja (I) SR Hrvatske. Rad. Šumar. inst. 4: 1-125, Zagreb.
- Hren, V., 1979: Podesnost Levakovićeve funkcije za izražavanje i praćenje sastojinske strukture. Rad. Šumar. Inst. br. 36, 1-79, Zagreb.

- Hren V., Krejči V., Bezak K., 1988: Frekvencija broja stabala po debljinskim stupnjevima kao pomoć kod uzgojnih zahvata – proreda. Rad. Šumar. inst. 23 (75): 159-165, Zagreb.
- Rastovski P., Bezak K., 1994: Istraživanje stanja prehrane i rasta obične bukve (*Fagus sylvatica* L.). Rad. Šumar. inst. 29 (2): 259-277, Jastrebarsko.
- Sardar, Z., Abrams, I., 1998: Introducing Chaos. Prijevod Lopac, V., 2001: Kaos. Naklada Jesenski Turk, pp:1 – 176 str., Zagreb.