

ANALIZA STATISTICĂ A PRECIZIEI DE ESTIMARE A UNOR INDICI DE STRUCTURĂ PENTRU ARBORETE

Sergiu HORODNIC, Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava
Ciprian PALAGHIANU, Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava

Abstract: *The paper analyze, using statistical methods, the precision of the most often calculated competition indices and their desirable attributes that provide clarity in interpretation and facilitate stands comparisons.*

By simulation, three spatial patterns of stands are examined: completely random, regular and clustered distributions of trees.

For the distance dependents structural indices, the experimental values shows a more accurate determination when 25-100 sampling quadrates are used.

The results of simulation provide that the use of more than six neighbors for each reference tree is not statistically efficient for the distance dependent structure indices.

Key words: spatial structure, structural indices, quadrat method, nearest-neighbor analysis

1. INTRODUCERE

Creșterea arborilor și a unui arboret în ansamblul său este rezultatul influenței unei multitudini de factori: factorii genetici individuali, efectele climatice, perturbațiile naturale sau antropice, dar și competiția inter și intra-specifică.

Orice impact asupra unui arboret are drept consecință modificarea structurii spațiale. Cercetările din ultimul timp sugerează utilizarea unui număr mare de indici pentru cuantificarea structurii spațiale a pădurii, considerându-se că aceștia pot fi utilizați ca expresie a biodiversității.

Formularea „*indici de structură*” este mai corectă decât „*indici de competiție*”, în cele mai multe situații, pentru că dezvoltarea și dispunerea spațială a arborilor și eliminarea unora se datorează nu numai competiției ci și intervențiilor (antropice sau de altă natură) în arboret.

Specificul structural al arboretelor poate fi exprimat prin indici *independenți de distanță* care sintetizează caracteristicile arborilor componenți (specie, diametru de bază, înălțime, volum), prin indici de structura orizontală sau *dependenți de distanță*, dar și prin indici ce rezultă prin combinarea celor două tipuri menționate.

Metodele de caracterizare a structurii spațiale care sunt independente de distanța dintre indivizi, prezintă dezavantajul că tipul de organizare spațială este dependent de mărimea adoptată a unității elementare (cerc de probă, latices, quadrat). Determinarea indicilor independenți de distanță necesită o cunoaștere precisă a amplasamentului vecinilor, competitorii fiind în interiorul unei zone de influență a cărei mărime trebuie precizată.

Aceasta lucrare analizează, prin metode ale statisticii matematice, precizia celor mai utilizați indici de structură și gradul de relevanță a atributelor care le conferă claritate în interpretare și facilitează comparațiile între arborete.

2. PROBLEMATICA ANALIZATĂ. METODA DE LUCRU

Discuția asupra diversității structurale a arboretelor poate fi efectuată în trei planuri (Pommerening, 2002): diversitatea de poziție a arborilor, diversitatea speciilor de arbori, diversitatea dimensională a arborilor. Primul plan, cel studiat în această lucrare, reflectă tipul de răspândire: regulată, grupată sau aleatoare (randomizată), precum și anumite combinații între acestea.

Atributele unui indice de structură, necesare pentru claritate și relevanța scopului pentru care se calculează, sunt: să aibă proprietăți matematice cunoscute, să nu se modifice la diferențele de mărime dintre unitățile statistice, să nu fie afectat de specificul culegerii datelor experimentale sau de diferențele de frecvență (de exemplu: invariant la diferențele de mărime a suprafeței de probă), și să aibă, de asemenea, un grad mare de generalizare.

Dintre indicii de structură independenți de distanță, cei mai utilizați sunt cei ce folosesc metoda quadratelor (Avăcăriței, 2005), aceste suprafețe regulate fiind considerate unitățile statistice elementare pentru care se analizează modul de distribuție a arborilor.

În tabelul 1 din *anexă* sunt sintetizate relațiile de calcul și semnificația notațiilor pentru indicii folosiți în lucrare.

Trebuie să se remarce faptul că, deși li se atribuie independența față de distanță, aceasta intervine indirect în influențarea valorii acestor indici prin mărimea suprafeței de probă elementare alese. Este așadar dificilă și, în același timp, deosebit de importantă, alegerea mărimii optime a quadratului pentru reprezentativitatea și interpretarea corectă a valorilor indicilor spațiali ai structurilor analizate. Până la urmă este o problemă de variabilitate a distanțelor; obligatoriu este influențată de mărimea sondajului (de numărul de arbori în fiecare clasă, celulă sau quadrat).

Metoda folosită a fost cea a simulării. Folosind programul propriu de simulare s-a analizat, pentru mărimi diferite ale quadratelor corespunzătoare unei suprafețe a arboretului de 1 ha, precizia cu care acești indici caracterizează cele trei tipuri fundamentale de structură orizontală: complet randomizată (tip Poisson), regulată (uniformă), grupată (agregată).

În ceea ce privește indicii de structură dependenți de distanță, o estimare obiectivă presupune existența unei relații funcționale între caracteristica urmărită și distanța arbore-arbore; acest lucru nu a fost dovedit decât în cazul numărului de arbori pe unitatea de suprafață și numai dacă distanțele urmează legea Poisson (Alexe et Milescu, 1983).

Cea mai utilizată metodă pentru calcularea indicilor dependenți de distanță este metoda celui mai apropiat vecin. Această metodă presupune compararea distribuției distanțelor față de cel mai apropiat vecin cu distribuția teoretică Poisson, care exprimă un proces spațial complet randomizat. *Distanța medie față de cel mai apropiat vecin* (\bar{d}) definește zona de dezvoltare a fiecărui individ în raport cu mediul cenotic în care se află.

Indicii de vecinătate sunt foarte flexibili prin considerarea unui număr „ n ” de arbori vecini, n nefiind restrictiv sau fix apriori. O sinteză a indicilor de structură dependenți de distanță folosiți în lucrare este redată în tabelul 2 din anexă.

În forma prezentată, indicii de structură dependenți de distanță iau în considerare numai distanța medie până la cel mai apropiat arbore vecin. Pentru procese Poisson omogene sau complet randomizate, distanțele până la cel mai apropiat unic vecin reprezintă un indice spațial satisfăcător, dar s-a observat că indicele Clark-Evans, de exemplu, folosit ca indice spațial nu dă rezultate bune în identificarea distribuțiilor grupate. Prin simulare, Cox (1971, citat de Alexe et Milescu, 1983) a constatat că imprecizia procedurilor bazate pe distanțe arbore-arbore crește pe măsură ce gruparea arborilor se accentuează. Devine necesară, pentru mărirea preciziei, generalizarea modului de exprimare a distribuției distanțelor de la un arbore la fiecare dintre ceilalți n vecini.

Pentru structurile analizate și prin metoda quadratelor, s-au calculat indicii de structură dependenți de distanță standard, iar pentru I_F și I_{CE} s-au extins calculele distanței medii cu considerarea unui număr mai mare de arbori vecini (de la 2 până la 10) pentru a observa implicațiile asupra preciziei de diferențiere a structurilor spațiale, înlăturând dezavantajul metodelor dependente de distanță care iau în considerare doar cel mai apropiat vecin și care ajung să caracterizeze corect doar structura pe suprafețe relativ mici.

2. REZULTATELE ANALIZEI

Prin simularea tipurilor fundamentale de structuri orizontale (uniformă, randomizată și agregată) și calcularea indicilor specifici prin metoda quadratelor se observă o influență semnificativă a marimii laturii suprafețelor elementare. Astfel, în situația unui număr de 196 arbori distribuiți în cele trei variante de bază pe o suprafață totală de 1 ha, considerând quadrate cu latura de 4 m, 5 m, 10 m, 20 m și 25 m, valorile varianței și ale indicilor de structură prezintă tendințe de modificare de tipul celor prezentate în exemplul din tabelul 3.

Pentru I_D și I_{Gr} , cea mai puternică diferențiere a tipurilor de structură se realizează în cazul quadratelor cu latura de 20 m, pentru care media numărului de arbori din fiecare suprafață elementară este de aproximativ 8 arbori. Este sugestivă reprezentarea grafică a valorilor indicelui de dispersie din figura 1.

Luând în considerare toate situațiile simulate, o diferențiere clară a celor trei tipuri de structură comparate se realizează pentru quadrate cu latura de 10÷20 m. Latura optimă a quadratului se recomandă, deci, să fie stabilită în intervalul $\left[\frac{\sqrt{A}}{10} \div \frac{\sqrt{A}}{5} \right]$, în

care prin A s-a notat suprafața totală analizată, astfel încât să rezulte un număr întreg de quadrate.

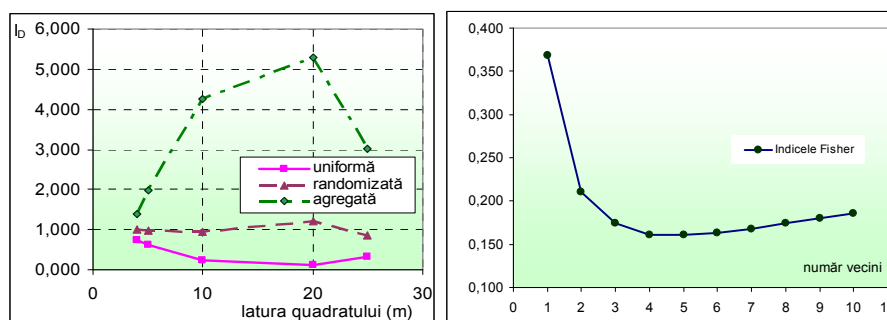
De asemenea, s-a observat că situația se păstrează și în cazul unui alt număr de arbori (98 arbori și 392 arbori) pe aceeași suprafață de referință, ceea ce ne îndreptățește să afirmăm că valoarea optimă a laturii quadratului nu depinde de densitatea arboretului analizat.

Tabelul 3. Valorile indicilor obținuți prin metoda quadratelor într-o situație reprezentativă dintre cele simulate

Indice	tip structură	latura quadratului (m)				
		4	5	10	20	25
s^2	uniformă	0,232	0,301	0,443	0,973	3,933
	randomizată	0,318	0,471	1,857	9,390	10,333
	agregată	0,440	0,967	8,362	41,557	37,000
I_D	uniformă	0,739	0,614	0,226	0,124	0,321
	randomizată	1,015	0,961	0,947	1,198	0,844
	agregată	1,403	1,974	4,266	5,301	3,020
I_{Gr}	uniformă	-0,001	-0,002	-0,004	-0,004	-0,003
	randomizată	0,00007	-0,00020	-0,00027	0,00101	-0,00080
	agregată	0,002	0,005	0,017	0,022	0,010
I_M	uniformă	0,164	0,209	0,607	0,892	0,948
	randomizată	1,047	0,921	0,973	1,024	0,988
	agregată	2,289	2,993	2,658	1,529	1,155

În ceea ce privește indicele Morisita, acesta prezintă o cvasiconstanță a valorilor în funcție de mărimea quadratului pentru toate tipurile de structură orizontală; tendința este, pentru acest indice, ca relevanța să fie cu atât mai mare cu cât numărul quadratelor este mai mare.

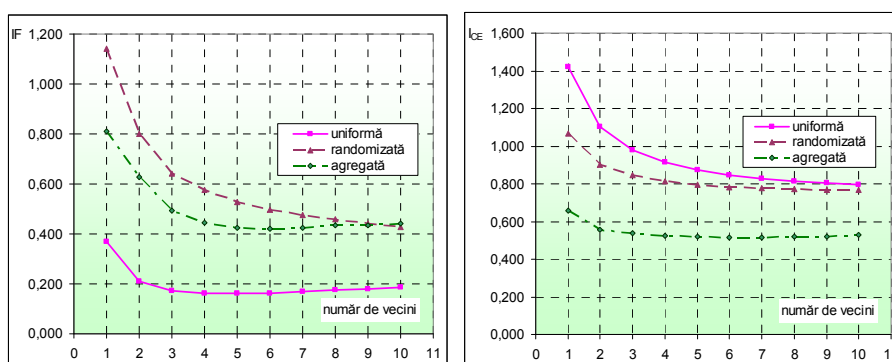
Pentru metodele care utilizează distanțele medii până la cei mai apropiați k arbori, cea mai mică valoare a dispersiei acestei caracteristici se înregistrează atunci când se iau în considerare 2÷3 arbori vecini pentru structurile de tip agregat și randomizat, sau 4÷5 arbori vecini pentru structura uniformă. Se observă aceasta și din variația valorilor indicelui Fisher pentru exemplul redat în figura 2.



Nu se justifică depășirea unui număr mai mare de 6 arbori considerați la calculul indicilor de structură pentru că valorile acestora corespunzătoare tipurilor diferite de distribuții ale arborilor pe suprafață se diferențiază tot mai puțin (fig. 3).

În concluzie, lucrarea acordă un interes particular măsurării variațiilor indicilor de structură la scară redusă datorate poziției arborilor și a spațiului de dezvoltare a acestora. S-au luat în considerare efectul diferențelor de mărime la prelevarea eșantionului (prin suprafața de referință și a numărului de arbori vecini) și influența modificărilor de frecvență asupra valorilor acestor indici.

Figura 3. Variația valorilor indicilor Fisher și Clark-Evans extins, în funcție de numărul de arbori vecini luați în considerare



Pentru metoda quadratelor se pune în evidență faptul că o precizie mărită în estimarea indicilor de structură este asigurată atunci când se folosesc un număr de $25 \div 100$ unități elementare de suprafață.

Rezultatele simulării arată că luarea în considerare a unui număr prea mare de arbori vecini nu este justificată statistic pentru că nu modifică semnificativ precizia determinării indicilor de structură dependenți de distanță.

BIBLIOGRAFIE

1. Alexe, A., Milescu, I., *Inventarierea pădurilor*, Ed. Ceres, București, 495 pg., 1983.
3. Avăcăriței, D., *Cercetări auxologice în arborete de fag aflate în perioada de regenerare*, teză de doctorat, Facultatea de Silvicultură Suceava, 388 p., 2005.
2. Pommerening, A., *Approaches to quantifying forest structures*, in *Forestry* 75, p.305-324, 2002.

Anexa

Tabelul 1. Indici de structură independenți de distanță analizați în lucrare

Indice	Relația de calcul	Observații
Indicele de dispersie	$I_D = \frac{s^2}{\bar{x}}$	-pentru o structură perfect randomizată (de tip Poisson) indicele de dispersie I_D este egal cu unitatea, -structură agregată are un indice de dispersie mai mare decât 1 -unei structuri regulate îi este caracteristică o valoare mai mică decât 1
Indicele Green	$I_{Gr} = \frac{\frac{s^2}{\bar{x}} - 1}{\sum x - 1}$	-reprezintă, de fapt, relația de calcul a testului χ^2 în vederea aprecierii semnificației îndepărtării de la distribuția randomizată (Botnariuc et Vădineanu, 1982)
Indicele Morisita	$I_M = n \cdot \frac{\sum x^2 - \sum x}{(\sum x)^2 - \sum x}$	- I_M este egal cu unitatea dacă distribuția este perfect randomizată, - $I_M < 1$ și tinde către $1 - \frac{n-1}{\sum x - 1}$ dacă populația are distribuție uniformă - este mai mare decât unitatea atunci când populația se distribuie grupat

Semnificația notațiilor este următoarea:

- s^2 este varianța numărului de arbori pe unități elementare,
 \bar{x} - numărul mediu de indivizi pe unitate statistică elementară,
 n - numărul unităților de probă (numărul quadratelor),
 x - numărul de indivizi pe unitatea de probă,
 $\sum x$ - numărul total de indivizi din suprafața analizată.

Tabelul 2. Indici de structură dependenți de distanță analizați în lucrare

Indice	Relația de calcul	Observații
Indicele Fisher	$I_F \approx \frac{s^2}{\bar{d}}$	- I_F corespunde unei structuri Poisson omogene când este egal cu 1, - atunci când capătă valori supraunitare indică o structură agregată, - pentru valori subunitare exprimă o structură de tip regulat
Indicele Clark-Evans	$I_{CE} = \frac{\bar{d}}{d_{teoretic}} = 2 \cdot \bar{d} \cdot \sqrt{\lambda}$	-valorile subunitare (tinzând la 0) ale indicelui I_{CE} sunt specifice structurilor agregate, - valorile supraunitare caracterizează o structură regulate, - o valoare apropiată de 1 este specifică unei distribuții randomizate $\lambda = \frac{n}{A} = \frac{n}{(x_{max} - x_{min}) \cdot (y_{max} - y_{min})}$
Indicele Donnelly	$I_{Do} = \frac{\bar{d}}{d_c}$	$d_c = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} + \left(0,051 + \frac{0,041}{\sqrt{n}}\right) \cdot \frac{P}{n}$ - corectează erorile I_{CE} datorate efectului de margine
Indicele Pielou	$I_p = \pi \cdot \lambda \cdot \omega$	$\omega = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}$; o valoare supraunitară indică o structură aleatoare
Indicele Skellam	$I_{Sk} = 2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot n \cdot \omega$	

Semnificația notațiilor suplimentare:

- λ este numărul mediu de indivizi pe unitatea de suprafață,
 $x_{min,max}$, $y_{min,max}$ sunt coordonatele minime și maxime ale pozițiilor arborilor,
 d_c reprezintă distanța teoretică corectată față de cel mai apropiat vecin,
 P este perimetrul suprafeței experimentale,
 ω reprezintă distanța medie pătratică.