

Capitolul 6

Diversitatea structurală a semințișului

6.1. Caracterizarea diversității structurale prin indicatori sintetici

Diversitatea, ca măsură a variabilității unor atribute, poate fi măsurată la niveluri și scări diferite în cadrul ecosistemelor forestiere. Datorită diversității specifice relativ scăzute a arboretelor din zona temperată, diversitatea dimensională (numită adesea diversitate structurală) a suscitat un interes superior cercetătorilor silvici. În vederea stabilirii unor criterii comune de apreciere și comparare a evaluărilor, a fost concepută o gamă largă de indicatori sintetici de apreciere a diversității structurale, care permit surprinderea fidelă a caracteristicilor unui arboret la un anumit moment din timp. Folosirea acestora alături de indicii convenționali (diametrul, înălțimea, suprafața de bază, vârsta, desimea) determină obținerea unui nivel de detaliu superior în aprecierea complexității structurale a arboretelor.

Aplicațiile cuantificării diversității dimensionale se regăsesc în comparații ale acestui parametru între arborete în vederea stabilirii stabilității structurale, aspecte privitoare la dinamica structurii în timp și spațiu sau implicații ale influenței tratamentelor silviculturale asupra structurii. O parte a indicilor sintetici folosiți în aprecierea diversității structurale au fost integrați în modele de creștere și dezvoltare a arboretelor.

Deși cercetări în acest domeniu au fost efectuate începând cu mijlocul secolului trecut, în ultimul deceniu interesul cercetătorilor în domeniul biodiversității și diversității forestiere a crescut.

În cazul diversității structurale a arboretelor, preocupările s-au materializat în numeroase lucrări științifice (Zenner, Hibbs, 2000; Staudhammer, LeMay, 2001; Pommerening, 2002; Aguirre et al., 2003; Lexerod, Eid, 2005; Vorcak et al., 2006; Davies, Pommerening, 2008).

La noi în țară primele lucrări privitoare la tematica diversității structurale forestiere au apărut încă de acum trei decenii, Ștefania Leahu (1978) introducând o serie de noțiuni împrumutate din teoria informației. Botnariuc și Vădineanu prezintă în tratatul de ecologie din 1982 o scurtă analiză a unor indicatori sintetici de apreciere a diversității, modalitatea de calcul a acestora și modul de interpretare a rezultatelor obținute. Ulterior, interesul pentru acest aspect particular al analizei structurii pădurii a fost concretizat în numeroase cercetări (e.g. Leahu, I., 1988; Cenușă 1992, 1996 a, 2002; Avăcăriței, 2005; Duduman, 2009; Dănilă, 2009).

În continuare se prezintă o analiză a diversității structurale a semințișului din suprafețele studiate. Sunt calculați principalii indicatori ai diversității recomandați de literatura de specialitate, în raport cu diverși parametri biometrici, pe specii și la nivel general. Scopul analizei îl reprezintă determinarea expresivității indicilor, a particularităților distribuțiilor dimensionale, respectiv a diferențelor pe care acestea le înregistrează la nivel de specie. Clarificarea acestor aspecte poate să conducă la includerea informațiilor diversității structurale în modele forestiere de creștere și dezvoltare. Datorită faptului că până acum nu a fost stabilită superioritatea absolută a unui anumit indicator sintetic, cercetările ce urmăresc această temă folosesc o gamă largă de indici de evaluare a diversității, în vederea surprinderii cât mai multor particularități.

Prelucrările numerice ce trebuie efectuate în vederea stabilirii valorii acestor indici sunt relativ complexe, operațiile fiind dificile în cazul unui volum mare de date. Calculatorul este în acest caz un instrument util, deoarece permite automatizarea și optimizarea prelucrărilor. Dezvoltarea unor aplicații de calcul tabelar a ușurat într-o oarecare măsură calculul acestor indici, dar chiar și cu ajutorul unei aplicații de calcul tabelar (e.g. *Microsoft Excel*), multe din aceste prelucrări ale datelor ar fi greu de efectuat fără cunoștințe de programare.

Pentru a veni în întâmpinarea cercetătorilor care doresc să efectueze studii ecologice dar nu posedă toate cunoștințele necesare prelucrării datelor, ca de altfel și tuturor celor care doresc o formă rapidă de a afla informații privitoare la biodiversitatea sau diversitatea structurală a unei zone analizate s-a realizat o aplicație de calcul a celor mai utilizați indicatori sintetici, numită BIODIV (Palaghianu & Avăcăriței, 2006; Palaghianu, 2014).

Aplicația, dezvoltată în *Microsoft Visual Basic*, preia datele de intrare dintr-o foaie de calcul de tip *Microsoft Excel* și calculează valorile pentru: indicele Simpson, indicele Shannon și echitatea pentru acesta (indicele Pielou), indicele Brillouin, indicele Berger-Parker, indicele McIntosh, indicele Margalef, indicele Menhinick și coeficientul Gleason.

Folosirea aplicației în activitatea de cercetare prezintă anumite avantaje - introducerea datelor primare este facilă, se obține o creștere a productivității muncii, se obțin rapid rezultate și este extrem de ușor de folosit datorită interfeței grafice. Se poate considera că aplicația BIODIV poate fi de un real folos cercetătorilor din domeniul silviculturii, ecologiei, biologiei (figura 6.1).



Figura 6.1 Fereastra aplicației BIODIV

Indicatorii calculați de aplicația software sunt:

Indicele Shannon (H)

Acesta este unul dintre cei mai utilizați indici de apreciere a diversității, având originea în conceptul de entropie a informației dezvoltat de Shannon (1948) în lucrarea „*A Mathematical Theory of Communication*”. Adesea este incorect menționat sub denumirea de indicele Shannon-Weaver sau Shannon-Wiener (deși nici unul din autorii ulterior alăturați numelui indicelui nu au contribuit la fundamentarea sa). Valoarea indicelui reprezintă gradul de organizare/dezorganizare al unui sistem dat. Acesta se calculează cu următoarea relație:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i, \quad p_i = n_i / N \quad (6.1)$$

p_i - proporția de reprezentare a unei categorii de caracteristici observate

n_i - numărul de observații pentru o categorie

S – numărul de categorii analizate

N - numărul total de observații în perimetrul analizat

Valoarea minimă a indicelui este 0 și se obține atunci când toate observațiile se găsesc într-o singură categorie. Valoarea maximă este egală cu $\ln(1/S)$ și se obține în cazul în care toate observațiile sunt repartizate în mod egal între categoriile analizate.

Echitatea (E) arată relațiile dintre abundențele categoriilor – în cazul unor abundențe relative similare echitatea va avea o valoare unitară iar în cazul în care majoritatea observațiilor aparțin unei singure categorii ea tinde spre valoarea zero. Echitatea reprezintă o formă de standardizare a indicelui Shannon, ca raport între diversitatea observată și diversitatea maximă (Pielou, 1969; citat de Lexerod, Eid, 2006).

$$E = \frac{H}{\ln(S)} \quad (6.2)$$

H - valoarea indicelui Shannon

S – numărul de categorii analizate

Indicele Brillouin (HB)

În anumite condiții acest indice surprinde mai bine diversitatea, dar în general valoarea acestui indice este foarte apropiată de cea a indicelui Shannon și întotdeauna inferioară (Magurran, 2004). Indicele este considerat din punct de vedere matematic superior indicelui Shannon ca măsură a diversității, folosirea sa fiind recomandată de către numeroși cercetători. Cu toate acestea, modul de calcul greoi descurajează folosirea sa, fiind mai puțin utilizat comparativ cu indicele Shannon. Dependența de volumul eșantionului poate conduce de asemenea la rezultate neașteptate în anumite situații.

$$HB = \frac{\ln(N!) - \sum_{i=1}^S \ln(n_i!)}{N} \quad (6.3)$$

n_i - numărul de observații pentru o categorie

S – numărul de categorii analizate

N - numărul total de observații în perimetrul analizat

Indicele Simpson – este un indice care ține cont nu doar de numărul categoriilor ci și de proporția fiecăreia. A fost prezentat de Simpson (1949) în lucrarea „*Measurement of Diversity*”, fiind un instrument deosebit de util aflat la îndemâna specialiștilor în ecologie. Este puternic influențat de abundența categoriilor și puțin sensibil la numărul de categorii. În publicațiile de specialitate se prezintă în general trei variante ale acestui indice de evaluare a biodiversității:

Indicele Simpson (D)

$$D = \sum p_i^2, \quad p_i = n_i / N \quad (6.4)$$

p_i - proporția de reprezentare a unei categorii de observații

n_i - numărul de observații pentru o categorie

N - numărul total de observații în perimetrul analizat

În această variantă indicele Simpson (D) exprimă probabilitatea ca două observații extrase întâmplător din perimetrul analizat să aparțină aceleiași categorii.

Valoarea minimă este egală cu $1/S$ (unde S – numărul de categorii analizate), iar maximul este 1.

Indicele complementar de diversitate Simpson ($1 - D$) exprimă probabilitatea ca două observații efectuate aleatoriu, să aparțină unor categorii diferite. În acest caz valoarea minimă este 0 iar maximul $1-(1/S)$.

Indicele reciproc Simpson ($1/D$) exprimă numărul de categorii cu pondere ridicată ce conduc la o anumită valoare a indicelui Simpson D . Valoarea minimă este 1, iar valoarea maximă numărul de categorii.

Indicele Berger-Parker (d)

Acest indice (Berger, Parker, 1970) este o formă simplă de calcul a dominanței, reprezentând proporția maximă din cadrul categoriilor analizate. Este un indice independent de numărul categoriilor, fiind însă cel mai influențat de către echitate. Valoarea maximă este 1 în cazul în care toate observațiile sunt grupate în aceeași categorie și minimă $1/S$ (unde S – numărul de categorii analizate) în cazul unei distribuiri uniforme a observațiilor între categorii.

$$d = p_{\max} (\forall i : p_{\max} \geq p_i) \quad (6.5)$$

p_i - proporția de reprezentare a unei categorii de observații

Indicele McIntosh (D_{MI})

Este un indice puțin folosit datorită modului complex de calcul și interpretării dificile. Este o altă formă de calcul a dominanței propusă de McIntosh (1967), indicele fiind independent de numărul de categorii. Pielou (1969, citat de Magurran, 2004) a conceput o formă de standardizare a indicelui, ca măsură a echității.

$$D_{MI} = \frac{N - \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2}}{N - \sqrt{N}} \quad (6.6)$$

n_i - numărul de observații pentru o categorie

N - numărul total de observații în perimetrul analizat

Indicele Margalef (D_{Mg})

Este un indice frecvent folosit datorită modului simplu de calcul, conceput în forma inițială de Margalef (1958) (citată de Margalef, 1994), inspirat de indicele Gleason. Valoarea sa nu este influențată de abundența relativă a categoriilor ci de numărul acestora. Prezintă și o variantă alternativă de calcul, ca raport între numărul de categorii a diametrelor și logaritmul natural al sumei suprafețelor de bază pentru toate clasele de diametre (Lexerod, Eid, 2006). Valoarea minimă este 0 – când toți arborii se încadrează în aceeași clasă dimensională analizată.

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln(N)} \quad (6.7)$$

S – numărul de categorii analizate

N - numărul total de observații în perimetrul analizat

Indicele Menhinick (D_{Mn})

Este un indice conceput de Menhinick (1964) în urma unui studiu comparativ al indicilor de diversitate apăruiți până la acea dată (indicele Gleason, Margalef, ș.a.). Autorul a încercat realizarea unui indice superior ca expresivitate care să fie influențat cât mai puțin de scara la care se face analiza.

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (6.8)$$

S – numărul de categorii analizate

N - numărul total de observații în perimetrul analizat

Indicele Gleason (K_{gl})

Este unul din primii indici ai diversității, inspirând o mare parte din indicii concepuți ulterior (e.g. indicele Margalef). A fost conceput de către Gleason (1922), ca urmare a preocupărilor legate de studiul relației dintre numărul de specii dintr-o arie dată. Se consideră că valoarea sa este în mică măsură influențată de către scara de analiză, datorită formei sale logaritmice.

$$K_{gl} = (S - 1) / \log(N) \quad (6.9)$$

N - numărul total de observații în perimetrul analizat

S – numărul de categorii analizate

Tabelul 6.1**Valorile indicilor sintetici de apreciere a diversității pe categorii de diametre**

	total	Ca	St	Te	Fr	Ju
indicele Simpson (D)	0,240	0,238	0,300	0,201	0,315	0,258
indicele Simpson (1-D)	0,760	0,762	0,700	0,799	0,685	0,742
indicele Simpson (1/D)	4,164	4,207	3,339	4,976	3,171	3,876
indicele Shannon	1,610	1,628	1,381	1,753	1,350	1,470
echitatea (Shannon)	0,610	0,617	0,629	0,798	0,614	0,756
indicele Brillouin	1,606	1,620	1,365	1,725	1,322	1,439
indicele Berger-Parker	0,358	0,354	0,405	0,291	0,439	0,348
indicele McIntosh	0,516	0,521	0,467	0,573	0,457	0,517
indicele Margalef	1,462	1,563	1,137	1,215	1,247	0,991
indicele Menhinick	0,164	0,219	0,267	0,334	0,364	0,340
indicele Gleason	1,014	1,083	0,788	0,842	0,865	0,687

Tabelul 6.2**Valorile indicilor sintetici de apreciere a diversității pe categorii de înălțime**

	total	Ca	St	Te	Fr	Ju
indicele Simpson (D)	0,157	0,159	0,195	0,148	0,239	0,170
indicele Simpson (1-D)	0,843	0,841	0,805	0,852	0,761	0,830
indicele Simpson (1/D)	6,351	6,278	5,136	6,775	4,182	5,880
indicele Shannon	1,973	1,971	1,806	2,011	1,645	1,907
echitatea (Shannon)	0,729	0,728	0,727	0,873	0,749	0,868
indicele Brillouin	1,967	1,962	1,783	1,978	1,614	1,861
indicele Berger-Parker	0,199	0,206	0,297	0,198	0,379	0,252
indicele McIntosh	0,610	0,610	0,576	0,640	0,533	0,618
indicele Margalef	1,575	1,683	1,564	1,367	1,247	1,322
indicele Menhinick	0,176	0,234	0,356	0,372	0,364	0,437
indicele Gleason	1,092	1,167	1,084	0,947	0,865	0,916

Tabelul 6.3**Valorile indicilor sintetici de apreciere a diversității pe categorii de volum a coroanei**

	total	Ca	St	Te	Fr	Ju
indicele Simpson (D)	0,974	0,968	0,965	0,986	0,997	0,991
indicele Simpson (1-D)	0,026	0,032	0,035	0,014	0,003	0,009
indicele Simpson (1/D)	1,027	1,033	1,036	1,014	1,003	1,009
indicele Shannon	0,084	0,100	0,104	0,041	0,012	0,033
echitatea (Shannon)	0,036	0,043	0,065	0,060	0,018	0,030
indicele Brillouin	0,082	0,097	0,099	0,039	0,011	0,028
indicele Berger-Parker	0,987	0,984	0,982	0,993	0,998	0,995
indicele McIntosh	0,013	0,016	0,018	0,007	0,002	0,005
indicele Margalef	1,012	1,082	0,569	0,152	0,156	0,330
indicele Menhinick	0,117	0,156	0,148	0,074	0,081	0,146
indicele Gleason	0,702	0,750	0,394	0,105	0,108	0,229

Tabelul 6.4**Valorile indicilor sintetici de apreciere a diversității pe categorii ale suprafeței exterioare a coroanei**

	total	Ca	St	Te	Fr	Ju
indicele Simpson (D)	0,785	0,759	0,838	0,746	0,961	0,766
indicele Simpson (1-D)	0,215	0,241	0,162	0,254	0,039	0,234
indicele Simpson (1/D)	1,273	1,317	1,193	1,340	1,040	1,306
indicele Shannon	0,461	0,507	0,387	0,499	0,102	0,463
echitatea (Shannon)	0,186	0,204	0,186	0,360	0,093	0,334
indicele Brillouin	0,458	0,503	0,377	0,489	0,097	0,449
indicele Berger-Parker	0,881	0,865	0,914	0,856	0,980	0,868
indicele McIntosh	0,115	0,131	0,087	0,141	0,020	0,131
indicele Margalef	1,237	1,323	0,995	0,456	0,312	0,496
indicele Menhinick	0,141	0,188	0,237	0,149	0,121	0,194
indicele Gleason	0,858	0,917	0,690	0,316	0,216	0,344

Tabelul 6.5**Valorile coeficienților de corelație dintre indicii de apreciere a diversității structurale**

	<i>1-D</i>	<i>H</i>	<i>HB</i>	<i>d</i>	<i>DMi</i>	<i>DMg</i>	<i>DMn</i>	<i>Kgl</i>
indicele Simpson 1-D	1							
indicele Shannon H	0,995	1						
indicele Brillouin HB	0,994	1,000	1					
indicele Berger-Parker d	-0,994	-0,996	-0,996	1				
indicele McIntosh Dmi	0,997	0,998	0,997	-0,998	1			
indicele Margalef DMg	0,785	0,798	0,801	-0,774	0,776	1		
indicele Menhinick DMn	0,778	0,768	0,761	-0,760	0,782	0,573	1	
indicele Gleason Kgl	0,785	0,798	0,801	-0,774	0,776	1,000	0,573	1

Din analiza modului de calcul al indicilor sintetici, a valorilor diversității obținute pentru elementele biometrice precum și a corelațiilor dintre indici se poate face o încadrare a indicilor în două mari grupe, fiecare grupă având o expresivitate similară – prima grupă formată din indicele Shannon, Simpson, Brillouin, Berger-Parker, McIntosh, iar cea de a doua este reprezentată de indicii Gleason, Margalef și Menhinick.

Se remarcă de asemenea similaritatea valorilor unor indici – indicele Brillouin are nu doar o relație aproape funcțională cu Shannon ($r=0,994^{***}$), dar și valori individuale absolute atât de apropiate încât grafic nu pot fi deosebite. De altfel, între toți indicii din prima grupă s-au obținut coeficienți de corelație cu valori mai mari de $0,99^{***}$. În cadrul celei de-a doua grupe se observă relația funcțională dintre indicele Gleason și Margalef, formula celor doi indici deosebindu-se doar prin baza logaritmică folosită. Toți indicii din cea de a doua grupă au fost influențați de observațiile lui Gleason (1922), formula lor de calcul neținând cont de proporția categoriilor ci doar de raportul dintre numărul de categorii și numărul total de observații.

Pentru facilitarea observării diferențelor dintre indici, au fost reprezentate grafic valorile acestora, separat pentru fiecare grupă, folosindu-se pentru reprezentare diagrame multi-axă, separate pe elementele dimensionale în funcție de

care au fost calculate valorile indicilor. S-a ales acest tip de comparație în defavoarea folosirii unor valori așa-zis „relative” (utilizate uneori în comparații) care elimină informații importante (fig. 6.2-6.3).

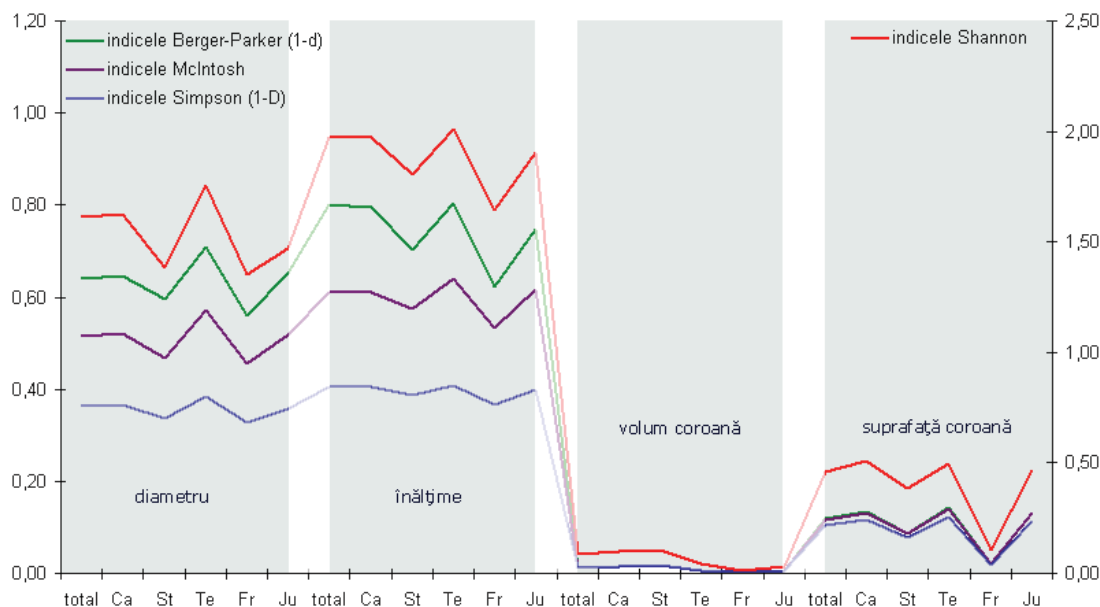


Figura 6.2 Variația grafică a indicatorilor sintetici de evaluare a diversității pe specii și elemente biometrice – prima grupă de indici

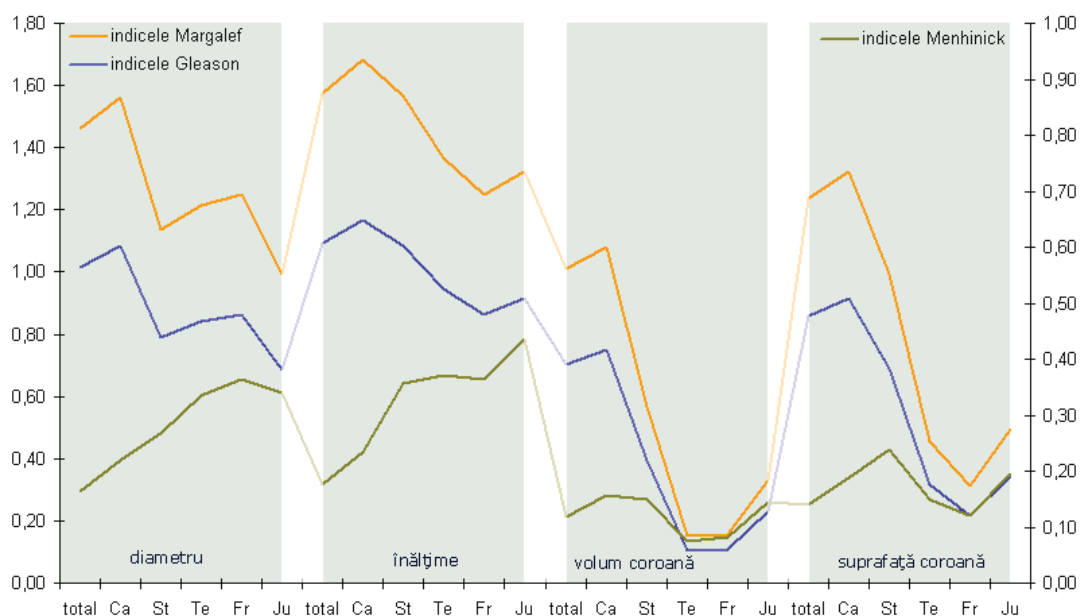


Figura 6.3 Variația grafică a indicatorilor sintetici de evaluare a diversității pe specii și elemente biometrice – grupa a doua de indici

În graficul din figura 6.2 s-a reprezentat un singur indice din gama Simpson (1-D), iar datorită faptului că indicele Berger-Parker (d) este singurul corelat negativ cu ceilalți din grupa sa, s-a utilizat pentru reprezentare valoarea 1-d.

Diferențele înregistrate între valorile indicilor din grupa I sunt ne semnificative din punctul de vedere al sensibilității, toți înregistrând aceleași fluctuații ale valorilor. Singurele diferențe se înregistrează la nivelul valorilor absolute, indicele Shannon înregistrând constant valori superioare celorlalți, fapt ce-i poate aduce fals plus de expresivitate în cazul reprezentării la aceeași scară cu ceilalți indici, chiar și în cazul folosirii unor valori relative. În cazul celui de al doilea grup (fig. 6.3), diferențele între indici se remarcă doar la nivelul indicelui Menhinick, între indicele Gleason și Margalef existând o relație funcțională.

Chiar dacă relațiile de calcul ale tuturor celor trei indici sunt în mare măsură similare, indicele Menhinick înregistrează un comportament mult diferit de al celorlalți doi. Comparatia între valorile primei și celei de a doua grupe de indici arată o expresivitate superioară a indicilor primei grupe, justificată de includerea în formula de calcul nu doar a numărului de categorii și observații ci și a proporției categoriilor.

Cu toate că au fost efectuate numeroase comparații între diverși indici ai diversității structurale (Lexner, Eid, 2005; Davies, Pommerening, 2008), nu s-a oferit un verdict clar privitor la superioritatea unui anumit indice. Consider însă că se poate aprecia că în vederea evaluării diversității dimensionale este suficientă folosirea unui singur tip de indice din prima grupă și a unuia din cea de a doua sau chiar a unui singur indice din prima grupă, datorită expresivității superioare a acestora. Este recomandabilă folosirea din prima grupă a indicilor Shannon sau Simpson datorită numeroaselor cercetări care utilizează acești indici, în acest fel existând posibilitatea efectuării unor comparații între rezultatele obținute. Dacă se intenționează compararea rezultatelor cu ale altor cercetări este bine să se precizeze valorile standardizate (relative) ale indicilor (e.g. echitatea determinată pentru unii indici ca raport între diversitatea observată și diversitatea maximă).

Diversitatea structurală a parametrilor biometrici arată un maxim în cazul înălțimii, iar apoi valorile descresc în ordine pentru diametru, suprafața coroanei și volumul coroanei. Având în vedere că diversitatea maximă se realizează la o repartizare cât mai echilibrată în clase, se poate afirma că înălțimea este, în cazul semințișului din suprafețele studiate, un parametru mai stabil decât diametrul și de asemenea suprafața coroanei în relație directă cu volumul coroanei.

În ceea ce privește analiza gradului de organizare pe specii se constată frecvent valori minime pentru frasin și stejar și maxime pentru tei și carpen. Structurarea superioară pe orizontală și verticală a carpenului și teiului exprimă caracterul invadant al acestor specii, determinat de creșterile viguroase din primele etape de dezvoltare.

6.2. Aprecierea dominanței și diferențierii dimensionale

Efortul silvicultorilor de a regla funcționalitatea și stabilitatea ecosistemelor forestiere este dublat de numeroase cercetări ce urmăresc stabilirea relațiilor dintre structura arboretelor și funcțiile atribuite acestora. Heterogenitatea structurii orizontale și verticale a unei păduri este frecvent asociată cu o stabilitate ecologică superioară a acesteia. Informațiile privitoare la diversitatea structurală sunt utile în modelarea și managementul forestier, putând fi folosite în optimizarea anumitor decizii cu implicații economice sau ecologice (Pommerening, 2006).

În literatura de specialitate (Gadow, Hui, 1999; Pommerening, 2002) se acceptă că din punct de vedere al modalității de calcul majoritatea indicatorilor de evaluare a diversității structurale se împart în două mari grupuri: independenți de distanță și dependenți de distanță (sau spațiali). Primul grup nu ține cont de caracteristicile distribuției în spațiu a evenimentelor și are o utilitate restrânsă în caracterizarea ecosistemelor forestiere datorită imposibilității de a efectua analize la un nivel de detaliu satisfăcător. Cel de al doilea grup folosește informațiile privitoare la repartiția în spațiu a evenimentelor, în funcție de modalitatea de calcul sau de scara la care sunt prezentate rezultatele deosebind (Pommerening, 2002):