

# **Analiza stabilității arborilor la acțiunea vântului prin metoda cuplurilor uniforme**

**Ionel Popa**

---

## **1. Introducere**

Analiza stabilității ecosistemelor forestiere la acțiunea factorilor perturbatori reprezintă un domeniu distinct al cercetărilor din domeniul ecologiei forestiere. Impactul negativ, economic și ecologic, al acțiunii individuale și conjugate a acestor factori de stress impune elaborarea și implementarea unor sisteme decizionale adecvate în scopul reducerii efectelor lor.

Doborâturile produse de vânt constituie principalul stresor al ecosistemelor forestiere montane cu implicații majore atât în plan economic prin dereglarea sistemului de management al arboretelor, cât și în plan ecologic prin modificările, negative sau pozitive, pe care le induce acest tip de perturbări în structura pădurilor. Aplicarea tehnicilor moderne de cercetare, respectiv modelarea și simularea matematică, integrată informatic, a permis elaborarea unor modele complexe de stabilitate a arborilor și arboretelor la acțiunea vântului (Galinski, 1989; Peltola și Kellomaki, 1993; Peltola et al., 1997; Valinger et al., 1993; Popa, 1999; 2001).

Analiza stabilității arborilor la acțiunea vântului prin modele teoretice, biomecanice (Petty și Swain, 1985; Peltola și Kellomaki, 1993; Popa, 1999; 2001) oferă

rezultate privind direcțiile de influență a parametrilor biometrici ai arborilor asupra stabilității generale a acestora la acțiunea vântului. Modelul este construit ca o reprezentare izomorfă a realității și oferă o imagine intuitivă, dar totuși riguroasă a acesteia în sensul logicii fenomenului cercetat. Necesitatea cunoașterii comportării sistemelor reale, cu scopul de a controla și dirija - prin deciziile luate - comportarea viitoare a sistemului, a impus modelarea matematică a fenomenelor naturale și validarea în condiții reale de teren a modelelor propuse. În realitate, sistemul de stabilitate al unui arbore este mult mai complicat, implicând un număr foarte mare de factori între care sunt stabilite relații complexe, unele dintre ele extrem de dificil a fi matematizate într-un model abstract.

Modelele statistice permit integrarea în sistemul de analiză a stabilității a unor parametri dificil a fi matematizați, în special calitativi (Valinger et al., 1993; Valinger și Fridman, 1997; Popa, 1999, 2001).

Pentru ca rezultatele obținute prin modelarea și simularea matematică a stabilității unui arbore la acțiunea vântului să fie integrate în sisteme și modele de nivel superior (la nivel de arboret, ecosistem forestier) este necesară validarea pe date

reale a acestora. În literatura de specialitate sunt propuse diverse metode de validare a modelelor de stabilitate la nivel de arbore, dintre acestea remarcându-se metodele care implică echipamente complexe, respectiv metodele distructive, bazate pe efectuarea de încercări mecanice pe arbori, în condiții reale.

Cercetările efectuate de Fraser (1962), Fraser și Gardiner (1967), Somerville (1979), Fredericksen et al. (1993), Papesch et al. (1997), se bazează pe utilizarea unui sistem complex compus dintr-un cablu și un dinamometru investigându-se comportamentul sistemului rădăcină - sol și al trunchiului în condițiile aplicării unei forțe statice cunoscute. Rezultatele experimentale au permis stabilirea unor ecuații de regresie simple sau multiple având drept variabilă dependentă momentul de răsturnare efectiv sau unghiul de înclinare a fusului, iar ca variabile independente principalii parametri biometrici ai arborilor. Studiul comportamentului sistemului rădăcină-sol într-un model dinamic a fost realizat experimental de către O'Sullivan și Ritchie (1993). Aceștia au folosit un dispozitiv ce induce o forță ciclică la nivelul rădăcinii.

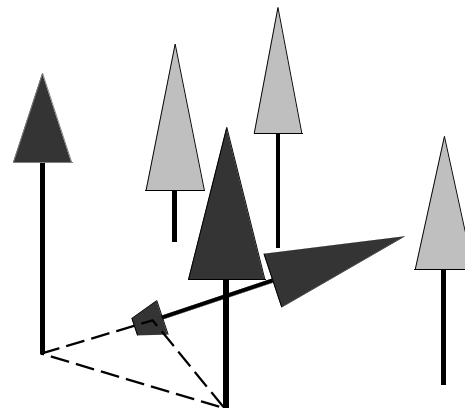
Sistemele de validare a modelelor de stabilitate descrise în literatură sunt strict localizate pentru un anumit complex de factori staționali (sol, topografie etc.) și de arboret, datorită complexității și costurilor financiare ale metodelor. Din aceste considerente se propune o nouă metodă de validare a modelelor teoretice de stabilitate la acțiunea vântului la nivel de arbore, capabilă de a surprinde, cu costuri reduse, o gamă foarte largă de condiții staționale și de arboret - metoda cuplurilor uniforme. Metoda propusă constituie în același timp un sistem de analiză a influenței parametrilor biometrici ai arborilor asupra sta-

bilității generale a acestora la acțiunea perturbatoare a vântului.

## 2. Material și metodă

Principiul de bază al metodei cuplurilor este dat de uniformitatea condițiilor staționale, privind caracteristicile solului, a topografiei generale și locale, a condițiilor generale de arbore și în special a parametrilor curenților de aer. Metoda cuplurilor uniforme constă în alegerea unui arbore doborât și a doi arbori nedoborâți situați cel mai aproape formând astfel un triunghi cu o suprafață care variază între 2-10 m<sup>2</sup>. Pentru o suprafață atât de mică condiția esențială a metodei de uniformitate a condițiilor staționale este îndeplinită (fig. 1-2).

Alegerea cuplurilor se face randomizat, urmărind a se surprinde condiții staționale și de arboret cât mai variate. Se vor evita cazurile în care distanța dintre arborele doborât și arborii nedoborâți este mai mare de 8-10 m, existând posibilitatea existenței



**Fig. 1.** Metoda cuplurilor uniforme pentru validarea modelelor de stabilitate la nivel de arbore - schemă

The uniform couple method for testing of the stability models at tree level - scheme



**Fig. 2.** Aplicarea metodei cuplurilor uniforme în O.S.E. Tomnatic, U.P. I Demacușa, u.a. 79 E  
The use of the uniform couple method in O.S.E. Tomnatic, U.P. I Demacușa, u.a. 79 E)

unor variații microstaționale particulare.

În condițiile în care uniformitatea caracteristicilor staționale și termodinamice generale este asigurată, singurii parametri variabili, deci determinanți ai stabilității arborilor individuali, sunt reprezentați de caracteristicile biometrice și calitative ale acestora. Astfel, este posibilă analiza statistică a influenței caracteristicilor biometrice și calitative ale arborilor asupra stabilității generale a acestora, putându-se pune în evidență direcția de influență a lor. Prin această metodă, în baza unui număr suficient de mare de date, se pot confirma sau infirma concluziile rezultate din simulările efectuate pe modelele mecanice și statistice.

În vederea analizei influenței parametrilor biometrici direcți și compuși asupra stabilității arborilor și în special a direcției de influență s-a procedat la preluarea datelor primare sub formă de indici având drept bază de referință caracteristi-

cile arborilor doborâți. Acest tip de prelucrare statistică a datelor permite identificarea direcțiilor de influență, asigurând în primul rând intercomparabilitatea cuplurilor.

Relația de calcul a indicilor este următoarea:

$$I_{pb} = \frac{Pb_{nedoborât}}{Pb_{doborât}} \quad (1)$$

unde:

$I_{pb}$  reprezintă indicele parametrului biometric;

$Pb_{nedoborât}$  - parametrul biometric al arborelui nedoborât;

$Pb_{doborât}$  - parametrul biometric al arborelui doborât.

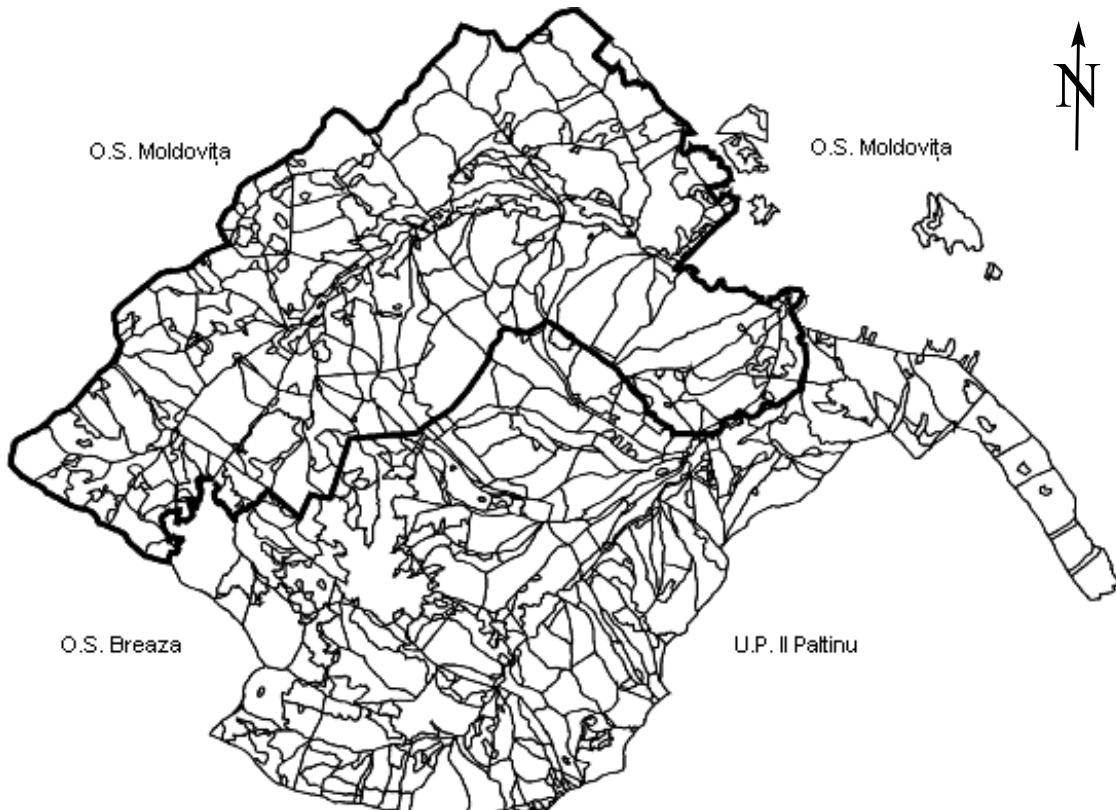
Analiza stabilității arborilor și cuantificarea influenței parametrilor biometrici și calitativi asupra vulnerabilității la vânt s-a realizat prin intermediul distribuției frecvențelor indicilor sintetici.

Folosind metoda cuplurilor uniforme, s-a procedat la inventarierea unui număr de 100 de perechi de arbori - doborâți și nedoborâți - aleși prin parcurgerea pe itinerar a arboretelor din O.S.E. Tomnatic, U.P. I Demacușa, bazinul Petac (fig. 3).

Prin inventarierea efectuată s-au înregistrat următorii parametri biometrici și calitativi: diametrul de bază, înălțimea totală, lungimea coroanei, diametrul coroanei, prezența sau absența defectelor, tipul de defecte, atât pentru arborii doborâți, cât și pentru arborii pe picior.

### 3. Rezultate obținute

Cercetările au fost orientate în două direcții principale: validarea modelului teoretic, biomecanic de stabilitate a arborilor



**Fig. 3.** Localizarea cercetărilor în O.S.E. Tomnatic, U.P. I Demacușa  
Research area in O.S.E. Tomnatic, U.P. I Demacușa

la acțiunea vântului (Popa, 1999, 2001) și analiza statistică a influenței parametrilor biometrici și calitativi ai arborilor asupra vulnerabilității acestora la vânt.

Din analiza distribuției frecvențelor indicelui momentului total de răsturnare se constată că în peste 80 % din cazuri momentul de răsturnare al arborilor doborâți, calculat pe baza modelului mecanic de stabilitate în regim static, este mai mare decât cel al arborilor nedoborâți. Pentru 39 % din cupluri momentul de răsturnare la arborilor doborâți este dublu față de cel al arborilor neafectați de vânt (fig. 4). Se constată că, în general, arborii doborâți de vânt prezintă o stabilitate de ansamblu mult mai mică decât cea a arborilor din apropiere, situați în aceleași condiții staționale, de arboret, supuși aceluiași

curenți de aer, neafectați de vânt. S-a testat de asemenea ipoteza influenței numărului de cupluri analizate asupra proporției arborilor cu moment de răsturnare mai mare. S-au ales în mod randomizat 20, 40, 60, 80, respectiv 100 de cupluri și s-a calculat proporția cuplurilor în care arborii doborâți au un moment de răsturnare mai mare decât cei nedoborâți, proporția variind de la 90 % (20 de cupluri) la 82 % (60 de cupluri), respectiv 81 % pentru 100 de cupluri.

În vederea stabilirii modului în care caracteristicile biometrice ale arborilor influențează rezistența acestuia la vânt s-a procedat la o analiză comparativă a acestora (arbore doborât - arbore nedoborât) prin intermediul indicilor simpli și compuși.

Analizând distribuția numărului de cupluri în raport cu indicele diametrului,

calculat ca raport dintre diametrul de bază al arborelui nedoborât și cel al arborelui doborât, se constată că numai în cazul a 43 % din cupluri arborii doborâți au un diametru mai mare, restul având un diametru mai mic decât arborii neafecțați (fig. 5), distribuția prezentând o asimetrie pozitivă de stânga.

Analizând distribuția frecvențelor absolute ale indicelui diametrului de bază în raport cu numărul de cupluri analizate, se constată o scădere a procentului cuplurilor în care arborii doborâți au un diametru de bază mai mic decât arborii nedoborâți de la 65 % (20 de cupluri) la 52 % (60 de cupluri), respectiv 57 % pentru 100 de cupluri.

Înălțimea totală a arborelui constituie un parametru de stabilitate esențial, lucru reliefat și de modelul fizico-matematic, și de cele statistice. Spre deosebire de indicele diametrului de bază, în cazul înălțimii, în 73 % din cazuri arborii doborâți au o înălțime mai mare decât cei nedoborâți. Dacă în cazul diametrului de bază se constată o variație relativ mare, de la 0,6 la 2,1, în cazul înălțimii variația este mult mai

mică, amplitudinea fiind de 0,8 (fig. 6), distribuția indicelui sintetic al înălțimii fiind centrată în jurul valorii de 0,9.

Proporția mare a cazurilor în care arborii doborâți au o înălțime mai mare decât cei neafecțați, conform rezultatelor modelelor teoretice, este explicabilă prin faptul că stabilitatea este determinantă în principal de nivelul de interceptie a curenților de aer a căror viteză crește proporțional cu înălțimea.

Parametrul de stabilitate cel mai uzitat în literatura de specialitate este reprezentat de raport dintre înălțimea totală și diametrul de bază, respectiv de indicele de zveltețe. Analizând distribuția numărului de cupluri în raport cu indicii înălțimii totale și ai diametrului de bază se observă o discordanță relativă, fidel reflectată de modul de repartizare a indicelui H/D pe clase de frecvență (fig. 7).

Se remarcă omogenitatea rezultatelor în raport cu numărul de cupluri luate în calcul, reflectând reprezentativitatea datelor. Astfel, proporția cuplurilor în care arborii doborâți au un coeficient de zveltețe mai mare decât arborii neafecțați, deci o stabili-

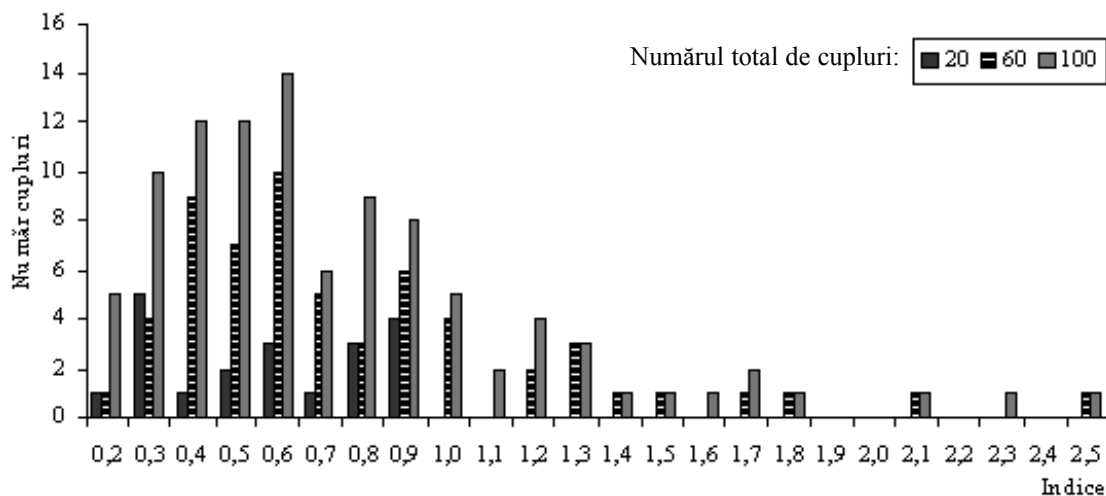
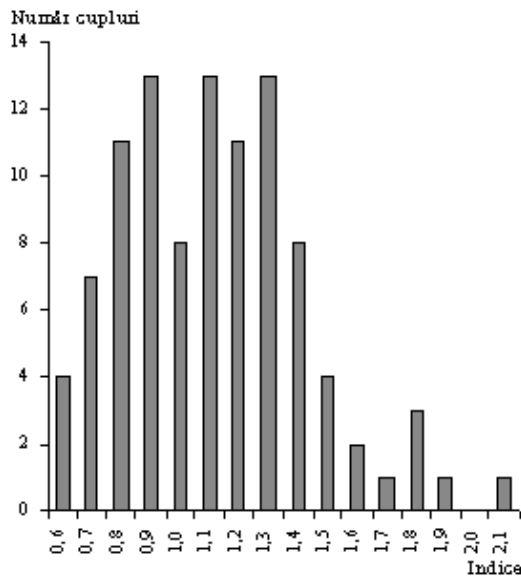
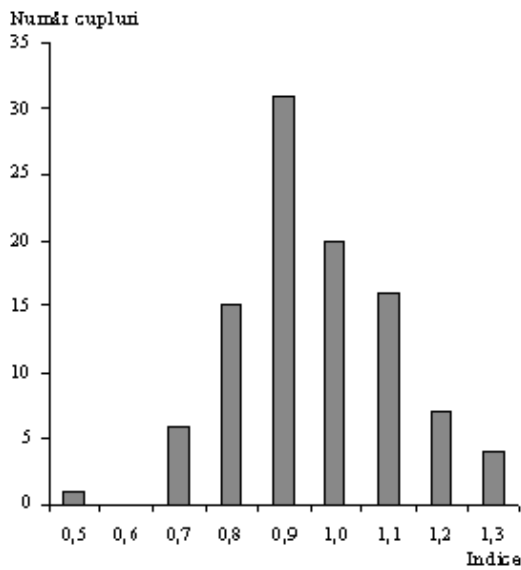


Fig. 4. Distribuția numărului de cupluri în raport cu indicele momentului total de răsturnare  
Frequency distribution of total overturning moment index



**Fig. 5.** Distribuția frecvențelor absolute ale indicelui diametrului de bază  
The absolute frequency distribution of the diameter index



**Fig. 6.** Distribuția numărului de cupluri în raport cu indicele înălțimii totale  
Frequency distribution of the total height index

rezultatele obținute prin simulările efectuate pe modelul mecanic și pe cele statistice, conform cărora stabilitatea unui arbore la acțiunea vântului scade odată cu creșterea coeficientului de zveltețe.

Prin modelare matematică în baza modelului mecanic (Popa, 2001), s-a pus în evidență influența unor indicatori sintetici, mai puțin uzitați în caracterizarea și analiza statistică a doborâturilor produse de vânt. Un prim indicator este reprezentat de proporția coroanei, respectiv raportul dintre lungimea coroanei și înălțimea totală. Conform modelului fizico-mecanic în regim static s-a identificat o zonă de stabilitate redusă pentru indici ai coroanei cuprinși între 0,45 și 0,75 (Peltola și Kellomaki, 1993; Popa, 2001). În vederea stabilirii validității acestei concluzii, s-a procedat la analiza separată a raportului dintre  $L_c/H$ , în funcție de indicii coroanei arborilor doborâți deosebindu-se două clase:  $L_c/H < 0,4$  și  $L_c/H > 0,4$  (fig. 8).

În cazul în care proporția coroanei arborilor doborâți este mai mică de 0,4, în majoritatea cazurilor (86 %) arborii doborâți au un indice al coroanei mai mic decât arborii nedoborâți, indicând o stabilitate aparentă mai mare, însă stabilitatea generală a arborilor este puternic influențată de prezența sau absența defectelor, foarte ridicată în cazul arborilor doborâți. În cazul în care proporția coroanei arborilor doborâți este mai mare de 0,4, deci într-o zonă de risc ridicat, conform modelului teoretic, proporția cuplurilor în care  $L_c/H$  pentru arborii doborâți este mai mic decât  $L_c/H$  al arborilor nedoborâți scade la 58 %.

Cercetările întreprinse atât în țara noastră cât și în străinătate au reliefat influența majoră a parametrilor calitativi ai arborilor și arboretelor asupra stabilității acestora la acțiunea perturbatoare a vântului. Prezența defectelor, și în special a celor însoțite de

tate mai redusă, variază foarte puțin de la 85 % (40, respectiv 80 de cupluri), la 83 % pentru ansamblul datelor. Sunt confirmate

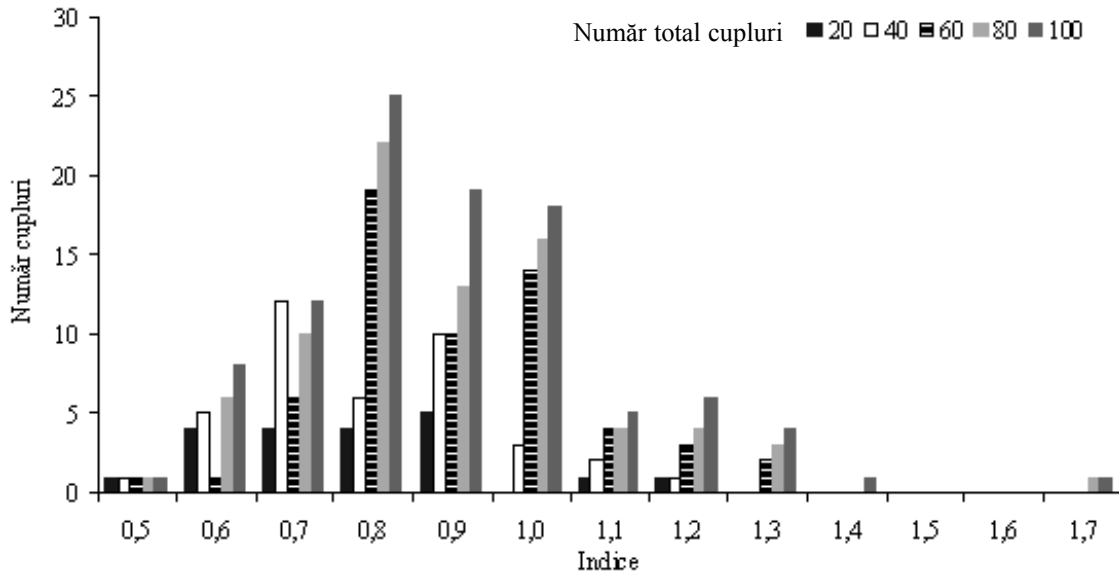


Fig. 7. Distribuția numărul de cupluri în raport cu indicele H/D  
Frequency distribution of height/diameter index

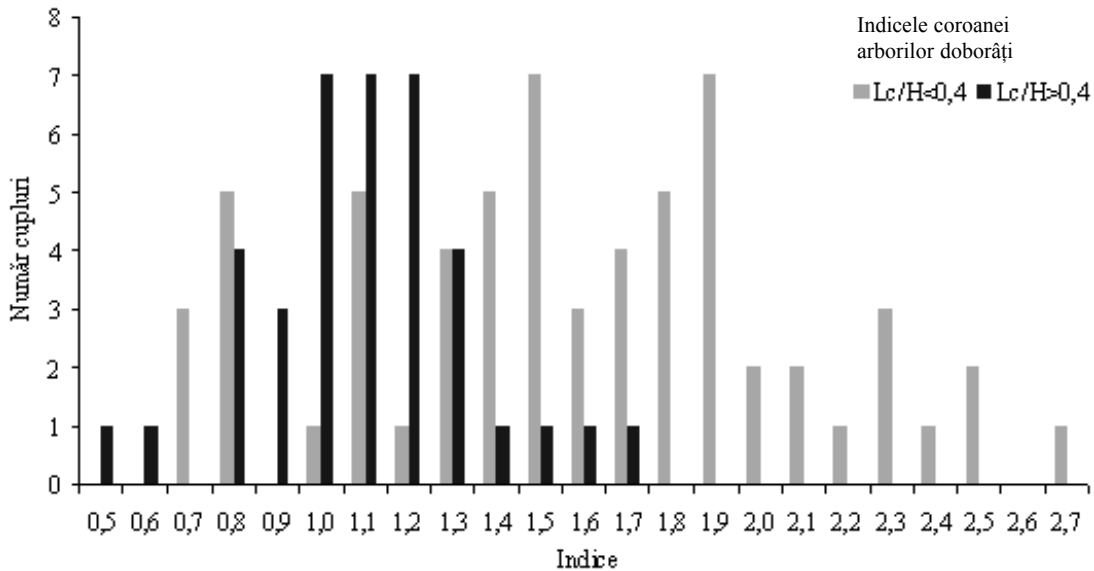


Fig. 8. Distribuția numărul de cupluri în raport cu indicele Lc/H  
Frequency distribution of length crown/height index

putregai, constituie factorul principal al vulnerabilității ridicate a arborilor. Modele statistice cuantificate, cât și simulările efectuate pe acestea au reliefat importanța majoră a acestui factor.

Din numărul total de arbori doborâți

analizați, un procent de 54 % prezintă defecte majore, mai ales de tipul putregaiului de rădăcină sau putregai la bază, spre deosebire de arborii nedoborâți la care numai 8 % prezentau defecte. Distribuția frecvențelor indicelui defectelor (0 dacă

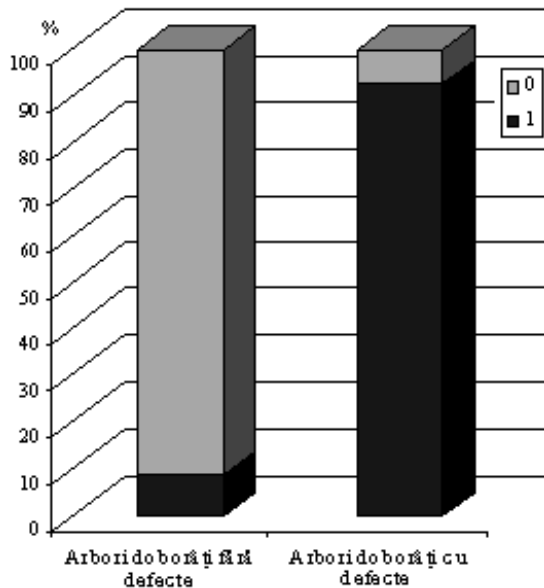


Fig. 9. Distribuția indicelui defectelor  
The distribution of defects index

ambii arbori - doborât și nedoborât - au defecte sau ambii nu au defecte, 1 dacă unul din arbori are defecte și celălalt nu are defecte) din figura 10, analizată separat în raport cu prezența defectelor la arborii doborâți, validează concluziile obținute din simularea pe modelele statistice.

În cazul cuplurilor în care arborii doborâți nu au defecte, în majoritatea cazurilor (91 %) nu există diferență între arborii doborâți și arborii nedoborâți din punct de vedere al defectelor. Numai în 9 % din cazuri arborii neafecțați au defecte și cei doborâți sunt sănătoși. Situația este complet diferită în cazul cuplurilor în care arborii doborâți au defecte, respectiv în peste 92 % din situații arborii nedoborâți nu au defecte.

Această analiză pune în evidență încă o dată ponderea foarte ridicată pe care o au factorii calitativi, în special prezența defectelor, în determinarea stabilității generale a arborilor la acțiunea vântului.

## 4. Concluzii

Metoda cuplurilor uniforme constituie o alternativă la metodele complexe, distructive, de analiză și validare a modelelor teoretice de stabilitate a arborilor la acțiunea vântului. Simularea rezistenței arborilor din fiecare cuplu, cuantificată prin momentul total de răsturnare, în baza modelului biomecanic, a confirmat validitatea modelului teoretic.

Aplicarea metodei indicilor în analiza statistică a parametrilor arborilor din fiecare cuplu a asigurat comparabilitatea datelor, punându-se în evidență direcția de influență a fiecărui parametru biometric sau calitativ.

Înălțimea totală a arborilor doborâți este mai mare decât a arborilor neafecțați de vânt în 73 % din cazuri. Observațiile practice și statistice privind stabilitatea mai mare a arborilor cu un coeficient de zveltețe redus sunt confirmate și din analiza distribuției indicilor raportului H/D.

Impactul negativ al defectelor, și în special al putregaiului, în reducerea rezistenței de ansamblu a arborilor la vânt, este reliefat și prin metoda cuplurilor uniforme. Proporția arborilor neafecțați de vânt, cu defecte este de 8 %, comparativ cu arborii doborâți, caz în care prezența defectelor a fost identificată la peste 50 % din cazuri. În peste 90 % din situațiile în care arborii doborâți prezintă defecte, arborele corespunzător din cuplu, neafectat de vânt, nu prezintă vătămări.

Metoda în sine prezintă unele aspecte subiective, în special în asigurarea uniformității condițiilor de mediu (stațiune, condiții eoliene), mai ales în cazul unei dispunerii particulare a arborilor doborâți și nedoborâți. Prin evitarea situațiilor cu caracter particular, și analiza unui număr mare de cupluri se obțin rezultate fiabile din punct de vedere statistic.



## Bibliografie

- Fraser, A.I., 1962. The soil and root as factors in tree stability. *Forestry* 35(2): 117-127.
- Fraser, A.I. și Gardiner, J.B., 1967. Rooting and stability in Sitka Spruce. *Forestry Commission Bulletin* 40, 28 p.
- Fredericksen, T.S., Hedden, R.L. și Williams, S.A., 1993. Testing loblolly pine wind firmness with simulated wind stress. *Canadian Journal of Forestry Research* 23: 1760-1765.
- Galinski, W., 1989. A windthrow-risk estimation for coniferous trees. *Forestry* 62 (2).
- O'Sullivan, M.F. și Ritchie, R.M., 1993. Tree stability in relation to cyclic loading. *Forestry* 66: 69-82.
- Papesch, A.J., Moore, J.R. și Hawke, A.E., 1997. Mechanical stability of *Pinus radiata* trees at eyrewell forest investigated using static tests. *New Zealand Journal of Forestry Science* 27: 188-204.
- Peltola, H. și Kellomaki, S., 1993. A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scots pines at stand edge. *Silva Fennica* 27(2): 99-111.
- Peltola, H., Nykanen, M. și Kellomaki, S., 1997. Model computations on the critical combination of snow loading and wind speed for snow damage of Scots pine, Norway spruce and birch sp. at stand edge. *Forest Ecology and Management* 95: 229-241.
- Petty, J.A. și Swain, C. 1985. Factors influencing stem breakage of conifers in high winds. *Forestry* 58(1): 75-85.
- Popa, I., 1998. Model logistic de simulare a stabilității unui arbore la acțiunea vântului. *Revista Pădurilor* 4: 41-43.
- Popa, I., 1999. Model mecanic de simulare a stabilității unui arbore la acțiunea vântului. *Revista Pădurilor* 5: 25-29, 6: 28-32.
- Popa, I., 2001. Modele de stabilitate la acțiunea vântului pentru arbori și arborete. Teză de doctorat. Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava 309 p.
- Somerville, A., 1979 Root anchorage and root morphology of *Pinus radiata* on a range of ripping treatments. *New Zealand Journal of Forestry Science* 9(3): 294-315.
- Valinger, E. și Fridman, J., 1997. Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. *Forest Ecology and Management* 97(3) : 215-222.
- Valinger, E., Lundqvist, L. și Bondesson, L., 1993. Identifying tree characteristics predicting susceptibility to snow and wind damage and simulation of the effect of removing high-risk trees when thinning. *Forestry* 66: 249-260.

## Summary

### The analysis of tree stability at the wind action by uniform couples method

A new method is used for evaluation of the stability of tree against the wind and to testing the theoretical stability models. The base principle of the uniform couple method is the relative identical environment conditions (site, stand and airflow) by using a couple of one damaged tree and two undamaged trees (the most close). Using the index statistical method it was possible to evaluate the direction of influences of the biometrical and qualitative tree parameters. Height and the ratio between height and diameter of the damaged tree were higher than the same parameters of undamaged trees in 73 % and 83 % of the pairs, respectively. The influence of defects, especially the root decay, is the most important in the stability of tree against the wind. Over 50 % of damaged tree have defects. The method of uniform couple is an alternative to destructive methods for testing, in site condition, by mechanical methods, the stability of tree and to validate the theoretical models.

**Key words:** windthrow, uniform couple methods, tree stability

---

**Autorul:** dr. ing. Ionel Popa este cercetător științific în cadrul Stațiunii Experimentale de Cultura Molidului Câmpulung Moldovenesc, Calea Bucovinei 73, 5950 Câmpulung Moldovenesc, jud. Suceava. E-mail: popa.ionel@icassv.ro.