

# Modelarea dinamicii temporale a doborâturilor produse de vânt, prin metoda evenimentelor extreme

**Ing. Ionel Popa**

Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului Câmpulung Moldovenesc

---

## 1. Introducere

Analiza structurii și funcționalității ecosistemelor forestiere naturale, neperurbate de acțiunea omului, ne conduce la ideea că doborâturile produse de vânt constituie un proces normal, natural, perfect integrat în lanțurile biogeochimice ale pădurii. Doborâturile produse de vânt reprezintă o formă de exercitare a funcțiilor ecosistemului, constituind alături de alte procese specifice o formă a eliminării naturale. Pentru ecosistemul forestier analizat la scară mare, ajuns în stadiul de climax, de stabilitate maximă, doborâturile nu constituie un factor perturbator, rata lor încadrându-se în limitele ratei eliminării naturale (Barbu, 1985).

În comparație cu pădurea naturală, în cadrul ecosistemelor forestiere în care omul a intervenit prin modificarea structurii și relațiilor stabilite între diferitele componente ale ecosistemului, doborâturile produse de vânt depășesc ca intensitate eliminarea naturală, având o rată mult mai mare, devenind un factor cu acțiune perturbatoare, cu efecte economice și ecologice negative prin modificarea structurii arboretelor și prin dereglările de ordin economic pe care le determină.

Hazardele naturale, respectiv doborâturile și rupturile produse de vânt și zăpadă de intensitate mare, sunt evenimente rare, dar ținând seama de orizontul de timp relativ extins ce poate fi cuprins în observație se realizează condițiile ce permit utilizarea modelării statistico-matematice în interpre-

tarea datelor. Aceasta cu atât mai mult cu cât identificarea exactă a cauzelor, dar mai ales a momentelor apariției unui astfel de eveniment, are încă un caracter relativ din punct de vedere al posibilităților actuale de cunoaștere, doborâturile produse de vânt putând fi interpretate ca fiind aleatoare, supuse legilor hazardului.

Analiza riscului apariției evenimentelor extreme este prezentă în toate domeniile de management al riscului. Dacă ne referim la analiza riscului în domeniul economic, ecologic sau social, una dintre cele mai mari provocări în managementul riscului o constituie implementarea unor modele de management al riscului care să permită, pentru evenimente rare dar cu efecte negative ridicate, economice sau ecologice, prognoza și măsurarea consecințelor lor.

Abordarea matematică clasică a modelării riscului se bazează pe utilizarea teoriei probabilităților. Riscurile reprezintă variabile aleatorii, putând fi considerate individuale sau ca făcând parte dintr-un proces stocastic, în care riscurile prezente depind de riscurile istorice.

Valorile potențiale ale riscului prezintă o distribuție de probabilitate pe care noi nu o vom cunoaște exact, cu toate că riscuri istorice similare sunt cunoscute, dar dispunem de informații parțiale asupra parametrilor distribuției de probabilitate. Evenimentele extreme apar când riscul depășește o valoare considerată drept limită a acestei distribuții. Pentru estimarea riscului la doborâturi produse de vânt s-a dezvoltat un

model de risc pornind de la o distribuție de probabilitate particulară – funcția Gumbel.

Teoria valorilor extreme constituie o ramură a teoriei probabilităților, focalizată pe analiza rezultatelor extreme, având aplicabilitate în inginerie, hidrologie, climatologie, finanțe, economie, ecologie, domeniul social etc.

În teoria statistică clasică, valorile extreme sunt tratate ca observații dubioase, care se abat de la distribuția populației, ele fiind eliminate prin intermediul unor teste statistice corespunzătoare.

Teoria valorilor extreme constituie un instrument eficient de estimare a riscului producerii unor evenimente cu efecte catastrofale. Analitic vorbind, se pot diferenția două mari categorii de modele pentru valorile extreme. Cele două categorii sunt: grupul modelelor de maxim și grupul modelelor de vârfuri peste limită - POT – peaks-over and threshold. Din prima categorie face parte distribuția valorilor extreme generalizată, iar a doua categorie este reprezentată de distribuția Pareto generalizată.

Teoria statistică a valorilor extreme constituie o modalitate eficientă de caracterizare a fluctuațiilor temporare ale unui fenomen, cu comportament stocastic. Această abordare este legată de o serie de înregistrări istorice ale unor manifestări extreme (maxime sau minime) ale fenomenului studiat, în cazul de față al doborâturilor produse de vânt.

Metodele statistice de analiză a valorilor extreme pot fi utilizate în estimarea relațiilor existente între intensitatea doborâturilor produse de vânt și riscul producerii unor catastrofe eoliene.

## 2. Material și metodă

În condițiile teoremei limitei centrale distribuția normală constituie cea mai importantă repartitie, iar familia distribuțiilor valorilor extreme include cele mai importante funcții de analiză a observațiilor extreme. Această familie de distribuții este cunoscută sub denumirea de distribuția

valorilor extreme generalizată (GEV – generalized extreme value distribution).

Funcția de densitate de probabilitate a distribuției valorilor extreme generalizată este dată de relația:

$$GEV(x) = \begin{cases} \exp\left[-(1 + \zeta x)^{\frac{-1}{\zeta}}\right], & \text{dacă } \zeta \neq 0 \\ \exp[-\exp(-x)], & \text{dacă } \zeta = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Prin particularizare, din distribuția valorilor extreme se obțin cele trei funcții de probabilitate la care se limitează teoria valorilor extreme:

- Fisher-Tippet tip I sau funcția Gumbel pentru  $\zeta = 0$ ;
- Fisher-Tippet tip II sau funcția Frechet pentru  $\zeta > 0$  cu parametrul de formă  $\alpha = 1/\zeta$ ;
- Fisher-Tippet tip III sau funcția Weibull pentru  $\zeta < 0$  cu parametrul de formă  $\alpha = -1/\zeta$ .

Dacă se introduce parametrul de localizare și cel de scală, respectiv  $\mu$  și  $\sigma > 0$  se obține distribuția valorilor extreme generalizată triparametrică dată de relația 2.

$$GEV(x) = \begin{cases} \exp\left[-\left(1 + \zeta \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{\frac{-1}{\zeta}}\right], & \zeta < 0, x > \mu + \frac{\sigma}{\zeta}: \text{Weibull} \\ \exp\left[-\exp\left(-\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right], & \zeta = 0: \text{Gumbel} \\ \exp\left[-\left(1 + \zeta \frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right], & \zeta > 0, x < \mu + \frac{\sigma}{\zeta}: \text{Frechet} \end{cases} \quad (2)$$

Estimarea parametrilor distribuției valorilor extreme generalizată se face prin metoda momentelor. Primele trei momente pentru o variabilă randomizată X, definite în termenii distribuției GEV sunt date de relațiile (Kharin & Zwiers, 2000):

$$\begin{aligned} M_1 &= E(X) = \mu + \frac{\sigma}{\zeta} [1 - \Gamma(1 + \zeta)] \\ M_2 &= VAR(X) = \frac{\sigma^2}{\zeta} \Gamma(1 + \zeta) (1 - 2^{-\zeta}) \\ M_3 &= \frac{\sigma^3}{\zeta} \Gamma(1 + \zeta) (-1 + 3 \cdot 2^{-\zeta} - 2 \cdot 3^{-\zeta}) \end{aligned} \quad (3)$$

Aceste trei modele permit modelarea distribuției valorilor extreme de minim sau de maxim. În literatura de specialitate sunt recomandate în special funcția Gumbel și Weibull.

Distribuția valorilor maxime de tip I, respectiv modelul Gumbel, prezintă o largă aplicabilitate, deoarece se bazează pe ipoteza că distribuția variabilei analizate prezintă o limită superioară care tinde la  $\infty$  și este de tip exponențial și include cele mai importante funcții de probabilitate, respectiv normală, lognormală, gama etc. Interesant de remarcat este faptul că distribuția Gumbel reprezintă un proces stocastic, constituit dintr-o colecție de variabile aleatorii care sunt independente și identic distribuite.

Presupunem că doborâturile produse de vânt cu efecte catastrofale sunt date de variabilele aleatoare  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , care arată numărul de doborâturi produse de vânt cu intensitatea  $i$  din  $n$  doborâturi înregistrate într-un an. Dacă variabilele  $X_i$  sunt independente și identic distribuite, atunci funcția de probabilitate cumulată pentru intensitatea maximă anuală  $Y$  este dată de funcția Gumbel:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right] \quad (4)$$

unde  $\sigma$  reprezintă parametrul de scală, iar  $\mu$  parametrul de localizare.

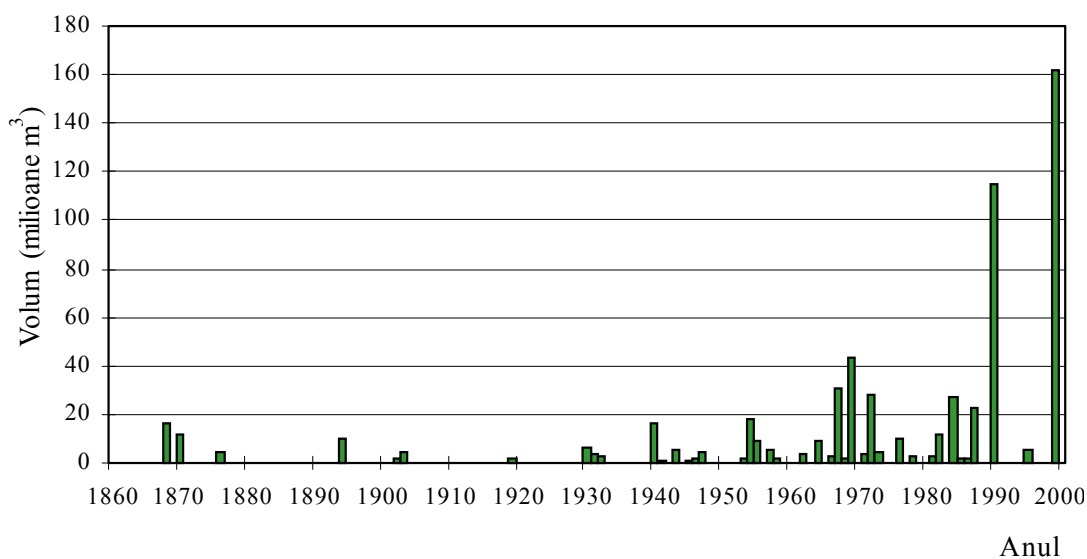
Estimarea parametrilor distribuției Gumbel se realizează prin metoda momentelor.

Acest model statistic de analiză și modelare a evenimentelor extreme a fost aplicat pentru estimarea probabilității producerii unor catastrofe eoliene de intensitate mai mare decât o valoare limită considerată având la bază datele statistice privind doborâturile produse de vânt la nivel european în perioada 1860–1999 (Doll, 1992, actualizat) (fig.1).

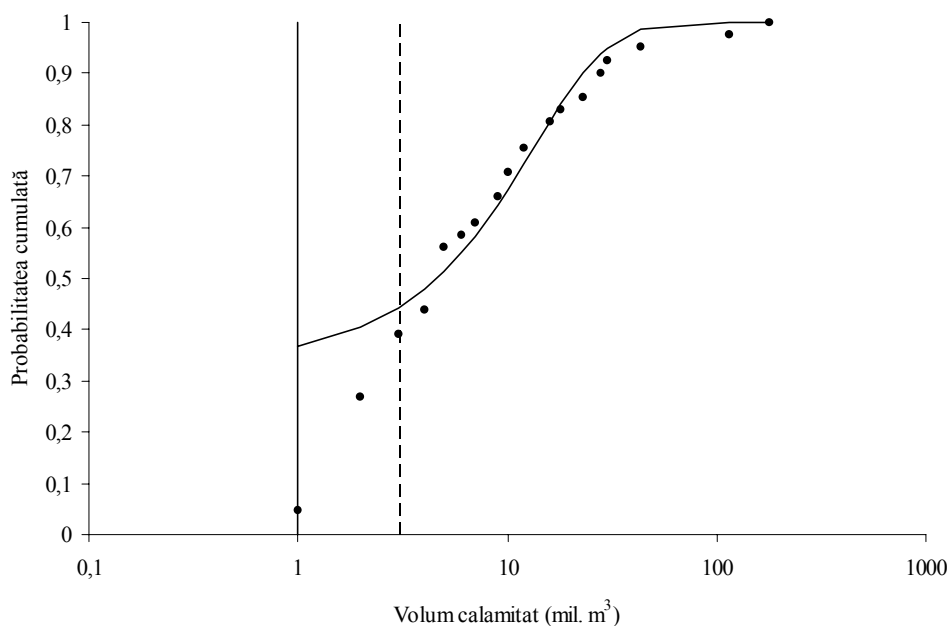
### 3. Rezultate

Într-o primă etapă de analiză s-a procedat la estimarea parametrilor modelului Gumbel prin metoda momentelor în baza datelor cronologice privind intensitatea doborâturilor produse de vânt la nivel european. Modelul Gumbel cumulativ estimat este dat de relația 5 (fig. 2):

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{1}{9,74}(x-1)\right]\right\} \quad (5)$$



**Fig. 1.** Cronologia doborâturilor produse de vânt în Europa între 1860 și 1999  
Windthrow chronology in Europe between 1860 and 1999



**Fig. 2.** Modelul Gumbel cumulat pentru doborâturile produse de vânt în Europa între 1860 și 1999  
Gumbel cumulate model for windthrow in Europe between 1860 and 1999

Din analiza modelului se poate observa că distribuția Gumbel trunchiată (limitată la intensități ale fenomenului mai mari de 1 milion  $m^3$ ) constituie o estimare satisfăcătoare a repartiției intensității catastrofelor eoliene la nivel european. S-a adoptat reprezentarea grafică în scară logaritmică pentru intensimăxim. În domeniul observațiilor cuprinse între 1 și 3 milioane  $m^3$ , modelul Gumbel nu reprezintă estimarea optimă.

De aceea, s-a procedat la elaborarea unui model probabilistic de estimare a frecvenței doborâturilor extreme prin gruparea datelor cronologice în clase de mărimi, respectiv gruparea evenimentelor eoliene extreme în clase în raport cu intensitatea lor (tabelul 1).

În baza acestor date primare s-a procedat la estimarea parametrilor modelului Gumbel prin metoda momentelor.

Scopul modelării statistice prin metoda evenimentelor extreme îl constituie elaborarea unui model de estimare a riscului producerii unei catastrofe eoliene având o intensitate mai mare decât o limită dată, într-o perioadă de timp. De aceea, în baza modelului Gumbel estimat, s-a calculat probabilitatea producerii unei doborâturi de

**Tabelul 1.** Frecvența doborâturilor produse de vânt înregistrate la nivel european în perioada 1860–1999, pe clase de intensitate

Windthrow frequencies registered at the European level between 1860–1999, by intensity classes

| Nr. crt. | Clasa de intensitate (mil. $m^3$ ) | Număr doborâturi |
|----------|------------------------------------|------------------|
| 1.       | >1                                 | 41               |
| 2.       | >5                                 | 23               |
| 3.       | >10                                | 14               |
| 4.       | >15                                | 10               |
| 5.       | >20                                | 7                |
| 6.       | >25                                | 6                |
| 7.       | >30                                | 4                |

intensitate  $k$  într-o perioadă de timp  $t$ . S-a adoptat modalitatea de exprimare a acestui model în număr probabil de doborâturi, precum și perioada de revenire a unei doborâturi, datorită relevanței mai mari pentru practica silvică a unei astfel de prezentări a modelului probabilistic de risc (tabelul 2).

Modelul Gumbel, cuantificat în baza datelor privind doborâturile produse de vânt grupate în clase de intensități, are forma:

**Tabelul 2.** Modelul Gumbel estimat pentru doborâturile produse de vânt la nivel european între 1860 și 1999  
Gumbel estimated model for windthrow at the European level between 1860 and 1999

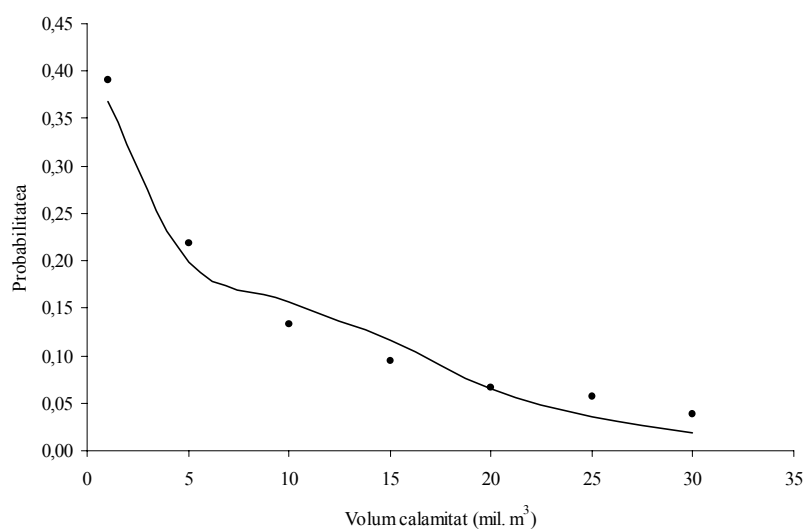
| Clasa de intensitate (mil. m <sup>3</sup> ) | Model empiric  |                        | Model Gumbel   |                        | Nr. doborâturi în perioada de ... |        |        |        |        | Periodicitatea medie (ani) |
|---|----------------|------------------------|----------------|------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
|   | Nr. doborâturi | Nr. doborâturi cumulat | Nr. doborâturi | Nr. doborâturi cumulat | 1 an                              | 10 ani | 20 ani | 30 ani | 50 ani |                            |
| >1  | 41             | 41                     | 39             | 39                     | 0,27                              | 2,76   | 5,52   | 8,27   | 13,79  | 3,62                       |
| >5  | 23             | 64                     | 21             | 60                     | 0,15                              | 1,48   | 2,97   | 4,45   | 7,42   | 6,73                       |
| >10   | 14             | 78                     | 20             | 80                     | 0,12                              | 1,17   | 2,34   | 3,51   | 5,85   | 8,54                       |
| >15   | 10             | 88                     | 12             | 92                     | 0,09                              | 0,87   | 1,74   | 2,62   | 4,36   | 11,45                      |
| >20   | 7              | 95                     | 7              | 99                     | 0,05                              | 0,49   | 0,99   | 1,48   | 2,47   | 20,26                      |
| >25   | 6              | 101                    | 4              | 103                    | 0,03                              | 0,26   | 0,53   | 0,79   | 1,32   | 37,50                      |
| >30   | 4              | 105                    | 2              | 105                    | 0,01                              | 0,14   | 0,27   | 0,41   | 0,68   | 72,49                      |

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-1}{7,36}\right)\right] \quad (6)$$

Reprezentarea grafică a modelului Gumbel este redată în figura 3. Din analiza grafică se observă că modelul Gumbel estimează foarte bine distribuția experimentală privind doborâturile produse de vânt la nivel european, grupate în clase de intensitate.

#### 4. Concluzii

Din analiza rezultatelor se observă că probabilitatea producerii unei doborâturi cu un volum calamitat mai mare de 1 milion m<sup>3</sup> este de 0,36, iar a unei doborâturi cu un volum mai mare de 20 milioane m<sup>3</sup> este de numai 0,06. Modelarea probabilității de apariție a doborâturilor produse de vânt cu ajutorul modelului Gumbel a permis elaborarea unui model probabilistic de estimare a riscului apariției unei doborâturi de intensitate  $k$  într-o perioadă de timp  $t$ , redat grafic



**Fig. 3.** Modelul Gumbel în cazul doborâturilor produse de vânt la nivel european între 1860 și 1999  
Gumbel model of windthrow at the European level between 1860 and 1999

în figura 4. În baza acestui model se observă că numărul probabil al doborâturilor cu un volum calamitat mai mare de 1 milion  $m^3$  variază de la 3 doborâturi într-o perioadă de 10 ani până la 14 doborâturi în 50 ani. Probabilitatea producerii unei doborâturi cu un volum calamitat mai mare de 20 milioane  $m^3$  este de una la 20 ani.

Perioada de revenire, respectiv intervalul de timp dintre două doborâturi de intensitate  $k$  variază de la 3,6 ani pentru doborâturi mai mari de 1 milion  $m^3$ , 8,5 pentru un volum calamitat mai mare de 10 milioane  $m^3$  și de 72 ani pentru doborâturi cu un volum afectat mai mare de 30 milioane  $m^3$ . Utilizarea teoriei valorilor extreme în elaborarea unor modele probabilistice de cuantificare a riscului producerii unor fenomene cu efecte economice, ecologice sau sociale importante, cum sunt doborâturile produse de vânt, constituie o etapă modernă de analiză și management a riscurilor.

## Bibliografie

Barbu, I., 1985. Doborâturile de vânt – abordare ecosistemică, manuscris Stațiunea Experimentală de Cultura Molidului Câmpulung Moldovenesc, 20 p.

Doll, D., 1992. Les cataclysmes eoliens dans les forêts d'Europe: aperçu historique. Forêt Entreprise, 77, p. 8-9.

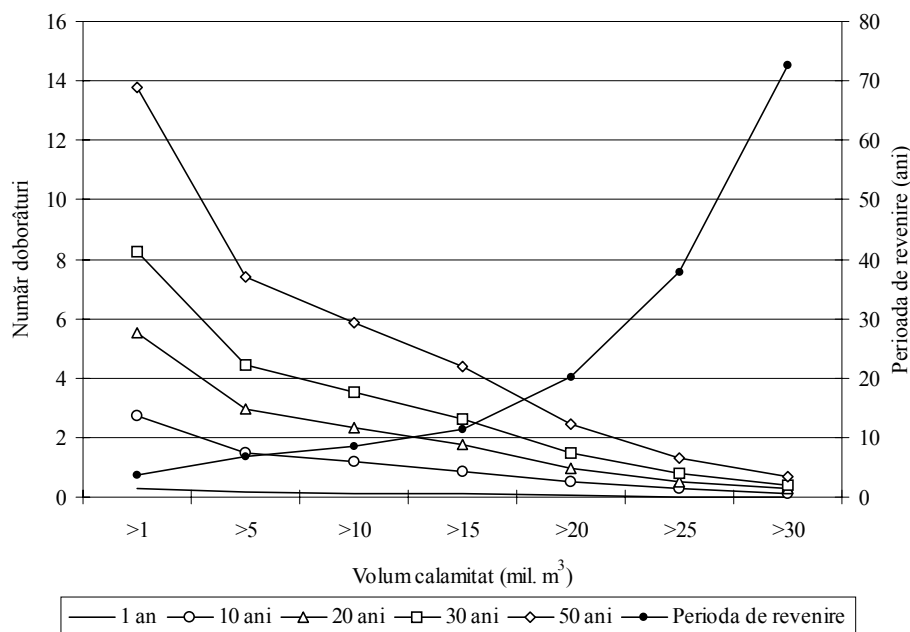
Kharin V. V., Zwiers F. W., 2000. Changes in the Extremes in an Ensemble of Transient Climate Simulations with a Coupled Atmosphere-Ocean GCM, Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Victoria, B.C., Canada, 74 p.

## Summary

### Modeling of temporal dynamics of windthrow by extreme events method

This paper presents a likelihood model for estimating the risk of windthrow by extreme value analysis. We use the Gumbel model for modelling the catastrophic windthrow at the European level through that we can estimate the probability to appear wind damage with  $k$  intensity in a  $t$  time period. The return period of a wind damage with an intensity above 1 million  $m^3$  is 3.6 years, and above 10 million  $m^3$  is 8.5 years.

**Key words:** windthrow, extreme value, Gumbel model



**Fig. 4.** Model probabilistic de estimare a riscului apariției doborâturilor produse de vânt la nivel european  
Likelihood model for estimating the risk of windthrow occurrence at the European level