

# Cuantificarea riscului apariției catastrofelor naturale în ecosistemele forestiere cu funcția Weibull

Ing. Ionel POPA  
Stațiunea experimentală de  
cultura molidului  
Câmpulung Moldovenesc

## Introducere

Catastrofele naturale, mai ales doborâturile și rupturile produse de vânt și zăpadă de intensitate ridicată, constituie un factor dereglator al bioproducției forestiere cu implicații majore în plan economic și ecologic prin modificarea relațiilor intrinsece ale ecosistemului forestier. Modelarea și prognoza acestor hazarde naturale a suscitât cercetarea științifică forestieră de mult timp. Semnificative din acest punct de vedere sunt cercetările întreprinse de R. D i s s e s c u (1962), I. B a r b u (1982, 1998), R. C e n u ș ă și I. B a r b u (1987).

Calamitățile 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 interpretarea 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, aceste evenimente putând fi interpretate ca fiind aleatoare, supuse legilor hazardului.

Problema fiabilității ecosistemului forestier, sub aspectul continuității funcțiilor și serviciilor oferite, este deosebit de importantă în conceptul actual de dezvoltare și gestiune durabilă a resurselor naturale.

În materialul de față se propune o metodologie de modelare a fiabilității pădurii în condițiile apariției unor doborâturi și rupturi produse de vânt și zăpadă cu efect catastrofal, prin intermediul funcției Weibull.

## Material și metodă

Pentru studiul evenimentelor rare, Fischer și Tipsett (1928), citat de Bailey 1973, propun o nouă funcție de repartiție care ulterior, în mod independent, a fost fundamentată de Waloddi Weibull (1939) în studiul fiabilității materialelor.

Încorporând virtuți modelatoare cu un spectru extrem de larg, repartiția Weibull se dovedește utilă în domeniul forestier, atât la modelarea distribuțiilor

experimentale (având o flexibilitate ridicată), cât și la cuantificarea unor evenimente naturale cu frecvență mică și foarte mică, a căror apariție urmează legile hazardului.

În aplicarea unui model de cuantificare a apariției doborâturilor produse de vânt se pleacă de la ipoteza evenimentului rar utilizându-se modelul Weibull pentru descrierea succesiunii în timp. De asemenea se poate utiliza și legea exponențială (caz particular al funcției Weibull) sau legea Poisson pentru caracterizarea frecvențelor într-un interval de timp.

În materialul de față funcția Weibull de estimare a probabilității de apariție a evenimentelor rare s-a aplicat în trei situații concrete:

- modelarea doborâturilor produse de vânt cu un volum mai mare de 1 milion m<sup>3</sup> la nivel european utilizându-se datele experimentale din tabelul 1;
- modelarea doborâturilor produse de vânt cu un

**Tabelul 1**  
Frecvența doborâturilor produse de vânt cu un volum mai mare decât 1 milion m<sup>3</sup> la nivel european în perioada 1860 - 1998 (D. Doll, 1992, actualizat)

Nr. crt.	Perioada	Număr doborâturi	Nr. crt.	Perioada	Număr doborâturi
1	1860-1870	2	8	1931-1940	3
2	1871-1880	1	9	1941-1950	5
3	1881-1890	0	10	1951-1960	5
4	1891-1900	1	11	1961-1970	6
5	1901-1910	2	12	1971-1980	5
6	1911-1920	1	13	1981-1990	7
7	1921-1930	1	14	1991-1998	1

volum mai mare de 100000 m<sup>3</sup> la nivel național utilizându-se datele experimentale din tabelul 2.

- modelarea căderilor de zăpadă mai mari decât o valoare dată, utilizându-se datele experimentale din tabelul 5.

Estimarea probabilității de producere a unor doborâturi produse de vânt cu un volum mai mare de 1 milion m<sup>3</sup>, la nivel european, are la bază datele

**Tabelul 2**  
Frecvența doborâturilor produse de vânt cu un volum mai mare decât 100000 m<sup>3</sup> la nivel național în perioada 1880 - 1998 (R. Ichim, 1988, actualizat și completat)

Nr. crt.	Perioada	Număr doborâturi	Nr. crt.	Perioada	Număr doborâturi
1	1880-1890	1	7	1941-1950	2
2	1891-1900	0	8	1951-1960	3
3	1901-1910	5	9	1961-1970	6
4	1911-1920	2	10	1971-1980	5
5	1921-1930	1	11	1981-1990	2
6	1931-1940	1	12	1991-1998	1

privind apariția unor astfel de fenomene în perioada 1860 - 1998 (D. D o l l, 1992, actualizat). Repartiția frecvențelor pe perioade de 10 ani este prezentată în tabelul 1.

La nivelul țării noastre s-a realizat un model Weibull de estimare a probabilității de apariție a unor doborâturi produse de vânt cu un volum calamitat mai mare de 100000 m<sup>3</sup>, având la bază datele privind doborâturile, produse în perioada 1880 - 1998. Frecvența de apariție a acestui fenomen, pe perioade de 10 ani, este prezentată în tabelul 2 (R. Ichim 1988, actualizat și completat).

Doborâturile și rupturile produse de zăpadă constituie un alt factor cu impact negativ asupra ecosistemului forestier, mai ales asupra arboretelor din primele clase de vârstă în care nu s-au efectuat la timp și în mod corespunzător lucrările de îngrijire și conducere a arboretelor.

Cercetările întreprinse (R. Ichim și I. Barbu 1981, P. Brega 1978, I. Barbu 1997, 1998) au arătat influența factorilor climatici și de arboret asupra apariției calamităților produse de zăpadă.

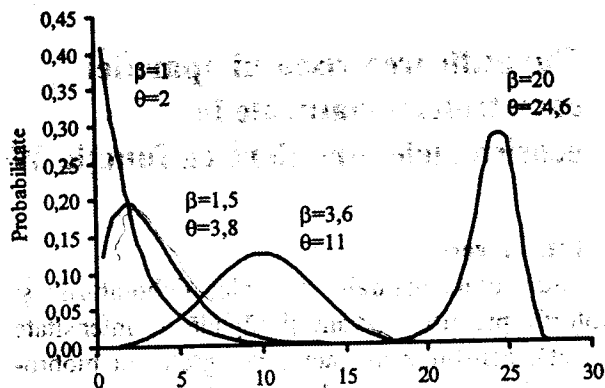
Conform teoriei mulțimilor (I. Barbu 1998) probabilitatea de apariție a unor zăpezi cu efect catastrofal este condiționată de trei factori de mediu principali:

- A - căderi de zăpadă mai mari de 40 l/m<sup>2</sup>;
- B - temperaturi între 0 ... -3C;
- C - vânt slab sau calm.

Probabilitatea totală este posibilitatea apariției simultane a celor 3 factori și depinde de probabilitatea fiecărui factor în parte:

$$P = P(C \cap B \cap A)$$

Dintre aceștia, determinantă este apariția unor



**Fig. 1** Evoluția densității de probabilitate în raport cu parametrul de formă

masive căderi de zăpadă. Astfel, pentru cercetarea și practica silvică, prezintă interes posibilitatea prognozei apariției unor căderi masive de zăpadă într-o anumită perioadă de timp, putându-se astfel lua măsuri adecvate.

În acest scop s-a încercat modelarea apariției unor căderi de zăpadă de intensități diferite folosind modelul Weibull.

Datele experimentale provin de la stație meteorologică Câmpulung Moldovenesc (659 m), acoperind o perioadă de 33 ani (1961 - 1995) (Tabelul 5).

O variabilă aleatoare X urmează repartiția Weibull dacă are următoarea funcție de densitate de probabilitate:

$$f(x, \theta, \beta, \gamma) = \frac{\beta}{\theta} \left( \frac{x-\gamma}{\theta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left( \frac{x-\gamma}{\theta} \right)^\beta}, \quad x > \gamma, x \geq 0, \theta, \beta > 0 \quad (1)$$

în care  $\gamma$  reprezintă parametrul de localizare;

- $\theta$  - parametrul de scală;
- $\beta$  - parametrul de formă.

Funcția de repartiția a modelului Weibull este dată de relația:

$$F_x(x, \theta, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \text{dacă } x \leq 0 \\ 1 - e^{-\left( \frac{x-\gamma}{\theta} \right)^\beta} & \text{dacă } x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

În analiza hazardelor sunt definite o serie de funcții care ne dau informații cu privire la probabilitatea apariției fenomenului. Astfel de funcții sunt:

- funcția de supraviețuire sau de fiabilitate care exprimă probabilitatea ca evenimentul să se producă

în intervalul  $[0, x]$  :

$$R(x, \theta, \beta, \gamma) = 1 - F_x(x, \theta, \beta, \gamma) = \left(\frac{x-\gamma}{\theta}\right)^\beta \quad (3)$$

• funcția de hazard este probabilitatea ca un sistem să cadă în intervalul  $[x, x+dx]$ , respectiv aceea de defectare a unui sistem într-un interval de timp foarte mic, presupunând că nici o defectare nu s-a produs înainte de acest moment:

$$h(x, \theta, \beta, \gamma) = \frac{f(x, \theta, \beta, \gamma)}{1 - F_x(x, \theta, \beta, \gamma)} = \frac{\beta \cdot (x-\gamma)^{\beta-1}}{\theta^\beta} \quad (4)$$

funcția de hazard cumulată:

$$H(x, \theta, \beta, \gamma) = \frac{x-\gamma}{\theta^\beta} \quad (5)$$

Funcția Weibull poate lua diferite forme în raport cu valoarea parametrului de formă (Figura 1).

Dacă parametrii funcției sunt cunoscuți, repartiția este complet specificată, caz destul de rar întâlnit în silvicultură. Cel mai adesea repartiția este incomplet specificată, fiind necesară estimarea numerică a parametrilor repartiției.

În literatura de specialitate sunt propuse diverse metode matematice de stimare a parametrilor unei repartiții teoretice în baza datelor experimentale: metoda celor mai mici pătrate, metoda momentelor, metoda verosimilității maxime, metoda iterativă, metoda minimului  $X^2$ , etc.

Metoda momentelor, propusă de Karl Pearson (1891), de estimare a parametrilor unei repartiții teoretice constă în egalarea momentelor teoretice cu cele de selecție. Metoda permite obținerea de estimatori nedepasați și de eroare pătratică medie minimă, cu posibilități ridicate de informatizare a calculului numeric.

Modelul Weibull pentru frecvența doborâturilor produse de vânt la nivel european

Număr de doborâturi	Date experimentale				Model Weibull			
	Frecvențe absolute		Frecvențe relative		Frecvențe absolute		Frecvențe relative	
	n	Cumulate	r	Cumulate	n	Cumulate	r	Cumulate
0	1	1	0,07	0,07	0,5	0,5	0,03	0,03
1	5	6	0,36	0,43	3,9	4,4	0,25	0,28
2	2	8	0,14	0,57	3,1	7,5	0,20	0,48
3	1	9	0,07	0,64	2,3	9,8	0,15	0,63
4	0	9	0,00	0,64	1,6	11,4	0,10	0,73
5	3	12	0,21	0,86	1,2	12,6	0,08	0,81
6	1	13	0,07	0,93	0,8	13,4	0,05	0,86
7	1	14	0,07	1,00	0,6	14,0	0,04	0,90

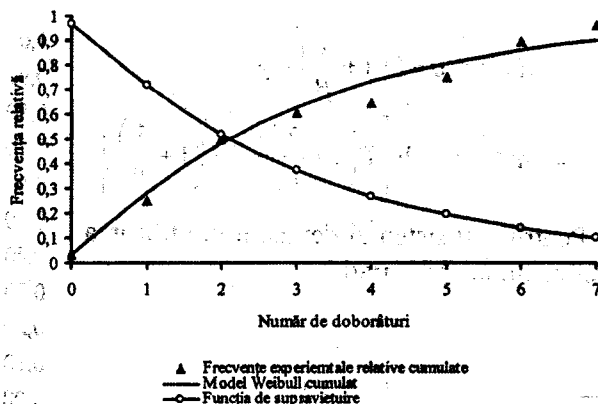


Fig. 2 Modelul Weibull pentru frecvența doborâturilor produse de vânt la nivel european.

În cazul funcției Weibull momentul teoretic central de ordinul  $k$  este dat de relația:

$$m_k = E[X^k - E(X)^k] = \int_0^{\infty} [X^k - E(X)^k] f(x, \theta, \beta, \gamma) dx \quad (6)$$

Din (6) se obțin media teoretică, dispersia teoretică și coeficientul de variație teoretic al modelului Weibull:

$$E(X) = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + \gamma$$

$$Var(X) = \theta^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]$$

$$CV(X) = \frac{\theta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}}{\theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + \gamma} \quad (7)$$

unde:

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt, \quad a, t \in \mathbb{R}$$

Tabelul 3

În general, parametrul de localizare este cunoscut, fiind egal cu valoarea minimă a caracteristicii  $X$ ; de exemplu pentru distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre  $y$  este egal cu limita inferioară a categoriei de diametre minime.

Parametri de scală  $\theta$ , respectiv de formă  $\beta$ , rezultă din sistemul de ecuații (cu  $\gamma$  cunoscut):

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{X} &= E(X) = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + \gamma \\ s^2 &= Var(X) = \theta^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \end{aligned} \right.$$

Pentru  $\gamma=0$  sistemul devine prin utilizarea coeficientului de variație:

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{X} &= E(X) = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ s_x &= CV(X) = \sqrt{\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} - 1} \end{aligned} \right.$$

Practic, pentru rezolvarea numerică a acestor sisteme de ecuații sunt necesare procedee iterative de calcul, lucru posibil numai în cazul utilizării metodelor informatice.

O modalitate relativ simplă de estimare a parametrilor modelului Weibull o constituie metoda celor mai mici pătrate.

Având ca punct de plecare funcția de repartiție (2), și aplicarea, în vederea liniarizării, a unei duble operații de logaritmare, rezultă:

$$\ln(-\ln(1-F_x(x, \theta, \beta, \gamma))) = -\beta \ln(\theta) + \beta \ln(x-\gamma) \quad (10)$$

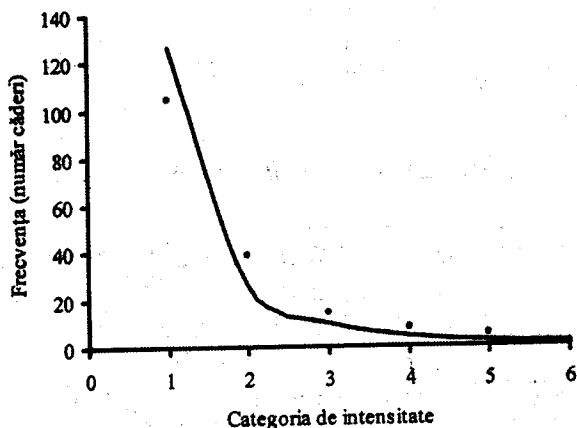


Fig. 4 Ajustarea datelor experimentale cu modelul Weibull

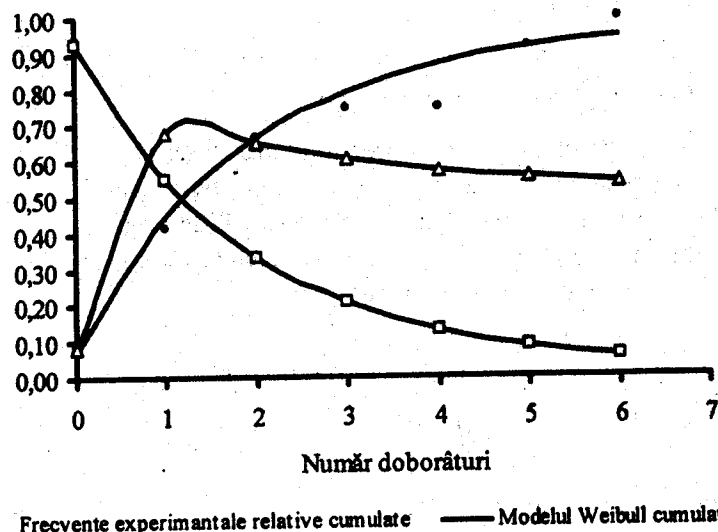


Fig. 3 Modelul Weibull pentru frecvența doborâturilor produse de vânt la nivel național

Dacă notăm:

$$a = -\beta \ln(\theta)$$

$$y = \ln(-\ln(1-F_x(x, \theta, \beta, \gamma))) \quad (11)$$

$$z = \ln(x-\gamma)$$

atunci se obține ecuația unei drepte:

$$y_i = a + \beta z_i \quad (12)$$

Parcurgând etapele clasice ale metodei celor mai mici pătrate, respectiv punând condiția ca funcție de definiție S să fie minimă, se obține un sistem de

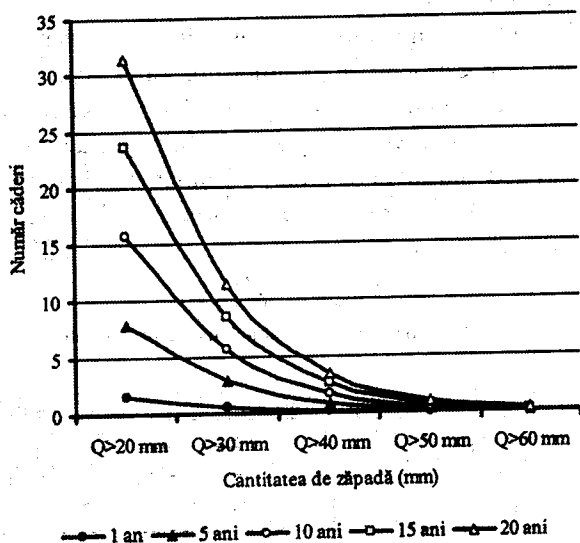


Fig. 5 Numărul de căderi de zăpadă estimate prin modelul Weibull

**Tabelul 4**  
**Modelul Weibull pentru frecvența doborâturilor produse de vânt la nivel național**

Număr de doborâturi	Date experimentale				Model Weibull			
	Frecvențe absolute		Frecvențe relative		Frecvențe absolute		Frecvențe relative	
	$n_i$	Cumulate	$r_i$	Cumulate	$n_i$	Cumulate	$r_i$	Cumulate
0	1	1	0,08	0,08	0,90	0,90	0,08	0,08
1	4	5	0,33	0,42	4,49	5,40	0,37	0,45
2	3	8	0,25	0,67	2,61	8,01	0,22	0,67
3	1	9	0,08	0,75	1,50	9,51	0,13	0,79
4	0	9	0,00	0,75	0,91	10,42	0,08	0,87
5	2	11	0,17	0,92	0,56	10,98	0,05	0,92
6	1	12	0,08	1,00	0,36	11,34	0,03	0,94

ecuații a cărei soluție este:

$$S = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - a - \beta z_i)^2 \text{ să fie minimă (13)}$$

$$\hat{a} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)\left(\sum_{i=1}^n z_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)\left(\sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i\right)}{n\left(\sum_{i=1}^n z_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2} \quad (14)$$

$$\hat{\beta} = \frac{n\left(\sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i\right) - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)\left(\sum_{i=1}^n z_i\right)}{n\left(\sum_{i=1}^n z_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2}$$

Din (14) revenind la notație inițială se obține parametrul de scală  $\theta$ :

**Tabelul 5**  
**Frecvența căderilor de zăpadă pe clase de mărimi la stația meteorologică Câmpulung Moldoveșc în perioada 1961 - 1995**

Clasa de mărime	Număr căderi de zăpadă	Număr căderi de zăpadă cumulate	Model Weibull	Model Weibull cumulat	Număr căderi de zăpadă în perioada					Perioada medie de apariția a unei căderi (ani)
					1 an	5 ani	10 ani	15 ani	20 ani	
1 (Q > 10 mm)	105	105	94	94	2,84	14,20	28,39	42,59	56,78	0,35
2 (Q > 20 mm)	39	144	52	146	1,57	7,86	15,73	23,59	31,45	0,64
3 (Q > 30 mm)	14	158	19	164	0,57	2,84	5,69	8,53	11,37	1,76
4 (Q > 40 mm)	8	166	6	170	0,17	0,86	1,72	2,58	3,44	5,82
5 (Q > 50 mm)	5	171	1	171	0,05	0,23	0,46	0,69	0,92	21,78
6	1	172	1	172	0,01	0,06	0,11	0,17	0,22	89,65

$$\hat{\theta} = e^{-\frac{a}{\beta}} \quad (15)$$

În cercetarea silvică, din considerente obiective, nu dispunem de informații globale asupra comportamentului tuturor elementelor unei populații, ci de informații obținute prin sondaj statistic sau observare limitată ca durată. Din aceste motive este necesară validarea modelului, adică să verificăm dacă există un suport statistic asigurat

și să presupunem că datele experimentale nu contravin ipotezei formulate asupra modului de comportament. În teoria statistică sunt propuse diferite teste de conformitate pentru verificarea concordanței dintre datele experimentale și modelul teoretic Weibull: testul  $X^2$ , suma pătratelor abaterilor, maximul abaterii, probabilitatea logaritmică, testul Cramer von Mises - Smirnov, abaterea absolută ponderată, testul Kolmogorov - Smirnov etc.

Odată validat, modelul poate fi utilizat pentru formularea de concluzii sau prognoze.

#### Rezultate și concluzii

*Exemplu numeric de modelarea a doborâturilor produse de vânt în Europa*

Utilizarea unui model Weibull triparametric la modelarea doborâturilor produse de vânt nu se justifică, având în vedere că parametrul de localizare

nu poate căpăta valoare semnificativă, întrucât nu putem stabili un moment  $\gamma$  cunoscut de inițializare a fenomenului, recomandându-se folosirea modelului biparametric  $f(x, \theta, \beta)$ .

În vederea estimării parametrilor modelului s-a realizat un program informatic care are la bază metoda celor mai mici pătrate.

Modelul estimat pe baza datelor experimentale, la nivel european, are forma:

$$f(x) = \frac{1,0004}{3,0351} x^{0,0004} e^{-\left(\frac{x}{3,0351}\right)^{1,0004}} \quad (16)$$

sau

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{3,0351}\right)^{1,0004}}$$

Frecvențele teoretice calculate pe baza modelului Weibull sunt prezentate în tabelul 3 (Fig. 2).

Prezintă interes să stabilim probabilitatea de apariție a 1, 2, 3, ..., doborâturi produse de vânt după modelul estimat. Probabilitatea de apariție a doborâturilor cu efect catastrofal se estimează cu funcția de supraviețuire care exprimă probabilitatea ca evenimentul să se producă în intervalul de timp (0,x) sau, cum se mai spune în teoria fiabilității, este probabilitatea funcționării fără căderi până la momentul t. Astfel probabilitatea să se producă o doborâtură cu efect catastrofal, într-o perioadă de 10 ani, în Europa, este de R(1)=0,72, probabilități ce descresc în continuare (fig. 2), astfel R(2)=0,52, R(3)=0,37, R(4)=0,27 etc.

Deci se poate afirma, având asigurare statistică, cu o probabilitate de a greși mai mică de 30%, că la fiecare 10 ani la nivel european se înregistrează o doborâtură produsă de vânt cu un volum calamitat mai mare de 1 milion m<sup>3</sup>, iar probabilitatea ca evenimentul să se repete în aceeași perioadă este mai mare de 50%.

*Exemplu numeric de modelarea a doborâturilor produse de vânt în România*

Utilizarea unui model Weibull triparametric nu se justifică nici în acest caz, recomandându-se modelul biparametric.

Modelul Weibull de estimare a probabilității apariție doborâturilor produse de vânt cu un volum calamitat mai mare de 100000 m<sup>3</sup> este:

$$f(x) = \frac{0,8819}{1,7939} x^{-0,1181} e^{-\left(\frac{x}{1,7939}\right)^{0,8819}} \quad (17)$$

sau

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{1,7939}\right)^{0,8819}}$$

Frecvențele teoretice estimate pe baza modelului Weibull sunt prezentate în tabelul 4 (Fig. 3):

Și la nivelul țării noastre este interesant de analizat probabilitatea producerii unui anumit număr de

doborâturi, într-o perioadă de 10 ani, utilizând funcția de supraviețuire.

Astfel, pe baza modelul Weibull estimat, se poate prognoza că probabilitatea producerii unei singure doborâturi masive într-o perioadă de 10 ani este de 0,55, iar apariția a două doborâturi de 0,33.

Se poate observa că rata doborâturilor la 10 ani este foarte apropiată de cea la nivel european.

*Exemplu numeric de modelarea a apariției căderilor de zăpadă cu efect catastrofal*

Modelul Weibull, estimat prin metoda celor mai mici pătrate, privind apariția unor căderi de zăpadă de diferite intensități este (Fig. 4):

$$f(x) = \frac{0,7126}{0,6662} \cdot \left(\frac{x}{0,6662}\right)^{-0,2874} \cdot e^{-\left(\frac{x}{0,6662}\right)^{0,7126}}$$

sau

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{0,6662}\right)^{0,7126}} \quad (18)$$

Acest model ne permite estimarea numărului probabil de căderi de zăpadă mai mari decât o valoare critică într-o perioadă de timp dată (Fig. 5).

Din figura 5 se poate observa că într-o perioadă de 10 ani probabilitatea de a avea o cădere de zăpadă mai mare de 40 l/m<sup>2</sup> este foarte mare, iar în 20 ani avem 2 astfel de căderi.

În concluzie, pentru zona studiată este foarte probabil ca, o dată la 10-15 ani să se înregistreze căderi masive de zăpadă. Apariția acestor zăpezi masive nu duce întotdeauna la doborâturi și rupturi cu efecte catastrofale, probabilitatea producerii lor fiind condiționată și de probabilitatea întrunirii celorlalte condiții, respectiv temperatura și mișcările de aer.

### Concluzii

Astfel de modele de estimare a probabilității apariției unui factori dereglatori într-o anumită perioadă de timp constituie baza conceptelor de cartare și management forestier.

Funcția Weibull, prin flexibilitatea și proprietățile sale modelatoare se impune ca un model optim se modelare și simulare a diferitelor procese ce apar în ecosistemul forestier, recomandându-se extinderea utilizării sale în cercetarea forestieră.

Domeniul de aplicabilitate a acestui model este extins, putând fi utilizat la estimarea frecvenței fenomenelor torrențiale, a probabilității de apariție a incendiilor, la modelarea repartiției parametrilor

structurii arboretelor etc.

Este evident că nu trebuie căzut în greșeala de a exagera importanța modelului Weibull, așa cum s-a procedat cu modelul repartiției normale. Proprietățile sale de generalizare cuprind o arie largă, dar totuși limitată. Funcția Weibull nu are un loc privilegiat în cadrul arsenalului de modele oferite de statistică și utilizatorul trebuie să aleagă acel model care răspunde la nivel maxim condițiilor concrete, particulare a problemei de rezolvat. Totuși prin forma analitică relativ simplă, manevrabilitatea matematică superioară ce permite aplicarea celor mai diverse forme de estimare a parametrilor, înglobarea altor modele, ca cel exponențial, Rayleigh etc, diferite forme de prezentare (Weibull biparametric, triparametric, normat, log Weibull, varianta Weibull de amestec etc), modelul se impune ca optim în domeniul forestier.

Studiul fiabilității ecosistemelor forestiere, bazat pe modele statistico-matematice adecvate, constituie un ajustator pentru elaborarea strategiilor de dezvoltare durabilă a economiei forestiere.

#### BIBLIOGRAFIE

Bailey, R., Dell, T.R., 1973: *Quantifying diameters*

*distributions with the Weibull function*, Forest Science, vol. 19, p. 97-104.

Barbu, I., 1998: *Contributions to the evaluation of snow damage – risk in the forests of Romania*, Manuscris, ICAS, Câmpulung Moldovenesc.

Brega, P., 1978: *Rupturi și doborâturi produse de zăpadă în pădurile din județul Suceava*, Revista Pădurilor, 6, p. 264-272.

Cenușă, R., Barbu, I., 1987: *Asigurarea protecției arboretelor de molid împotriva doborâturilor și rupturilor de vânt și zăpadă*, ICAS Seria II, București.

Dăscălescu, R., 1962: *Frecvența daunelor produse de vânt și eșalonarea măsurilor amenajistice de protecție*. Revista Pădurilor, 10.

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

Ichim, R., 1988: *Istoria pădurilor și silviculturii din Bucovina*. Editura Ceres, București.

Ichim, R., Barbu, I., 1981: *Rupturile și doborâturile provocate de zăpadă în pădurile județului Suceava*, ICAS Seria II, București.

Isaic-Măniu, A., 1982: *Metoda Weibull – aplicații*. Editura Academiei Române, București.

StatSoft, Inc., 1997: *Electronic Statistics Textbook*. Tulsa, WEB: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.

Tovissi, L., Vodă, V., 1982: *Metode statistice – Aplicații în producție*. Editura Științifică și Enciclopedică, București.

### The quantification of risk to apparition of naturals catastrophes in forest ecosystems with Weibull function.

#### Abstract

The paper presents one currently used model addressing the study of system reliability, namely the Weibull function. This method can be used for estimating the rate of natural hazard for varied ecosystem process. Some remarks regarding the using of Weibull method for quantify the likelihood of apparition the catastrophic windthrow at European and national level. Other numerical example estimated the snowfall frequencies. Among conclusions it is highlighted that the new model might be used to quantify the hazard rate of other naturals catastrophic phenomenon.

**Keywords:** Weibull method, hazard, windthrow, snowfall.