

## Stabilitatea molizilor la acțiunea vântului

Francisc Grudnicki

### 1. Consideratii generale.

Stabilitatea molizilor la acțiunea vântului, și stabilitatea arboretelor formate din această specie, prezintă o deosebită importanță pentru fondul forestier, mediu și economie.

Studiul stabilității arborilor forestieri, aparține domeniului *biomecanicii forestiere*.

*Biomecanica* este știința, care aplică legile și raționamentele specifice mecanicii, la studiul biosferei, de la celule, țesuturi, organe, organisme, până la populații și ecosisteme.

*Biomecanica forestieră* este biomecanica aplicată în sectorul forestier.

Scopul biomecanicii constă în crearea *modelelor matematice*, necesar pentru studierea fenomenelor mecanice a materiei vii.

### 2. Factorii care determina stabilitatea molizilor.

Principalii factori care determină stabilitatea molizilor la acțiunea sarcinilor mecanice exterioare sunt:

-*Structura vântului*, prin intensitatea sa și direcția liniilor de curent. Vânturile cu viteza peste 12 m/s (tăria 7-8 pe scara Beaufort), produc doborâturi și rupturi de vânt. La aceeași viteză medie, vânturile cu curgere turbulentă, în rafale, produc pagube mult mai mari decât cele având o curgere laminară.

-*Modul de înrădăcinare*, care la molid este o înrădăcinare *trasantă*, pe soluri superficiale.

-*Rolul complex al rădăcinilor* privind ancorajul acestora în teren.

-*Clima* și cea în special cu precipitații abundente. Umiditatea mare după ploi abundente și topirea zăpezilor, diminuează foarte mult capacitatea de ancorare a sistemului radicular trasant.

-*Frunzișul permanent*, din coronament constituie un obstacol permanent în cale vântului în tot timpul anului.

-*Forma reliefului și așezarea arboretelor* în raport cu acesta; arboretele de molid fiind situate pe versanți.

-*Consistența arboretelor, regimul, tratamentul, și metodele de exploatare*, aplicate.

-*Vârsta arborilor*, care prin creștere în înălțime și dezvoltarea coronamentului, contribuie la creșterea momentului de răsturnare, mai ales că viteza vântului crește cu înălțimea.

-*Flexibilitatea molizilor la încovoiere și compresiune*, datorită zvelteței fusului.

-*Starea sanitară a arborilor și a arboretelor*.

-Forma streășinei și a profilului longitudinal pe direcția vântului.

### 3. Modelul biomecanic al molidului.

Forma naturală a molidului și al altor arbori forestieri, demonstrează o caracteristică fundamentală, în sensul că acești arbori sunt structuri *optime* din punct de vedere biologic și mecanic.

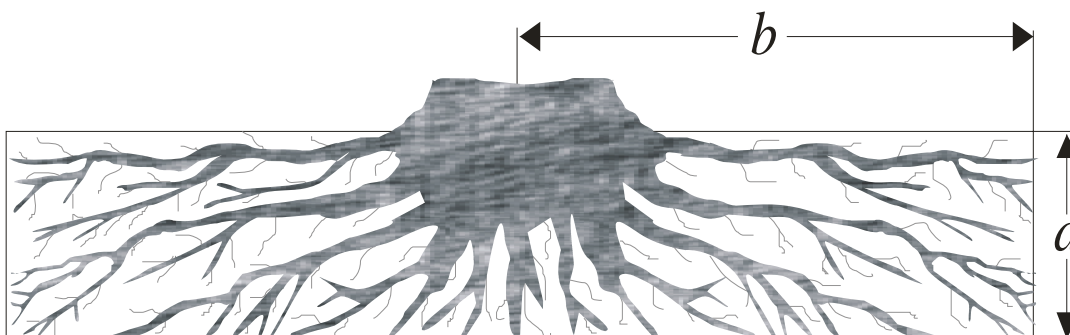
În acest context, ca model matematic, arborii forestieri sunt asimilați cu *corpuri de rotație*, rezultate din rotirea în jurul unei axe verticale a unei *curbe de contur* (*curbe generatoare*), specifice fiecărei specii.

Din punct de vedere al stabilității un arbore poate fi considerat ca fiind format dintr-o:

-*elevație*, formată din cioată, trunchi și coroană,

-*fundație*, formată din rădăcini și solul aferent, denumită *sistem radicular*.

Elevația se consideră încastrată în fundație, la nivelul terenului.



**Figura 1. Modelul biomecanic al înrădăcinării trasante**  
**Figure 1. Biomechanical model of the linear root system**

Sistemele radiculare ale plantelor sunt considerate ca fiind primele fundații armate, create însă de natură.

Dendrometria și lucrările de specialitate în acest domeniu, oferă pentru speciile de arbori forestieri, o diversitate de relații matematice pentru curbele de contur ale fusului și coroanei, și în special pentru molid.

Corpul de rotație care se pretează ca model biomecanic, pentru sistemul radicular trasant al molidului este *cilindrul* sau *trunchiul de con* cu adâncime mică (fig.3.1).

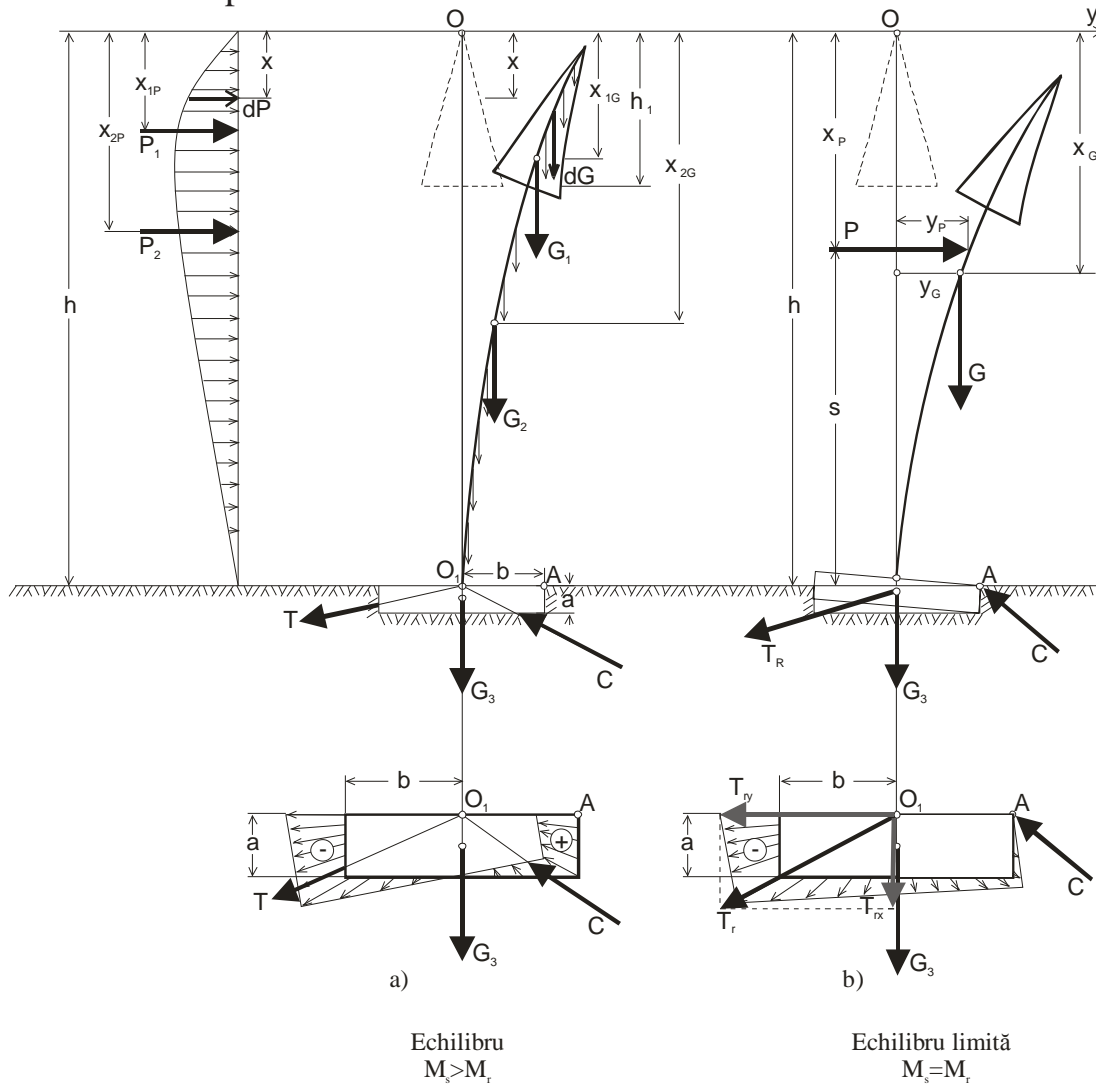
## 4. Forțele care soliciță molidul

### 4.1. Forțe active exterioare permanente

Datorită simetriei corpului de rotație, ca model matematic adoptat, este evident că toate rezultantele forțelor ce acționează asupra arborelui sunt coplanare în planul de simetrie Oxy.

Aceste forțe se datorează câmpului gravitațional terestru și sunt reprezentate de greutatea arborelui.

Forțele sunt continue și neuniform distribuite (fig.4.1.a), fiind în funcție de curba de contur adoptată.



**Figura 2. Forțele care solicită molidul**  
**Figure 2. Forces that solicit the Norway spruce**

Greutatea elevației  $G$ , este dată de suma greutateii coroanei  $G_1$  și a trunchiului  $G_2$ , având punctul de aplicație  $x_G$ :

$$G = G_1 + G_2 \quad ; \quad x_G = \frac{G_1 x_{1G} + G_2 x_{2G}}{G} \quad (4.1)$$

unde:

$$G_1 = \int_0^{h_1} dG(x) = \pi \gamma \int_0^{h_1} r(x)^2 dx \quad ; \quad x_{1G} = \frac{\int_0^{h_1} x dG(x)}{G_1} \quad (4.2)$$

$$G_2 = \int_{h_1}^h dG(x) = \pi\gamma \int_{h_1}^h r(x)^2 dx \quad ; \quad x_{2G} = \frac{\int_{h_1}^h x dG(x)}{G_2} \quad (4.3)$$

în care:  $dG(x)$  = greutatea elementară a elevației în secțiunea  $(x)$ ;  $h$  = înălțimea arborelui;  $h_1$  = înălțimea coroanei;  $\gamma$  = greutatea specifică a elevației;  $r(x)$  = raza cercului aferent curbei de contur în secțiunea  $(x)$ .

Greutatea fundației  $G_3$  este dată de relația:

$$G_3 = \gamma_t V_r - kV((\gamma_t - \gamma)) \quad ; \quad x_{3G} = h + \frac{a}{2} \quad (4.4)$$

relație care ia în considerare greutatea rădăcinilor și greutatea terenului aferent

În relația (4.4)  $V_r$  = volumul cilindrului fundației;  $\gamma_t$  = greutatea specifică a terenului;  $\gamma$  = greutatea specifică a biomasei rădăcinilor;  $k$  = raportul dintre volumul biomasei sistemului radicular  $V_b$  și volumul total al biomasei molidului  $V$ :

$$k = \frac{V_b}{V} < 1 \quad (4.5)$$

Proporția de volum a rădăcinilor molidului în raport cu volumul total este de 9%, al cioatei de 8%, al trunchiului de 68%, al cojii trunchiului de 8%, iar al crăcilor de 7% (I. Decei).

#### 4.2. Forțe active exterioare nepermanente.

Aceste forțe rezultă din mișcarea maselor de aer, cu sau fără precipitații, respective a vântului

Forțele de presiune ale vântului sunt sarcini dinamice neuniform distribuite (fig.4.1.a), ce acționează pe jumătatea suprafeței de contur a elevației.

Conform formulei lui Stokes, forța elementară de presiune a vântului în secțiunea  $x$  este :

$$dP(x) = \frac{1}{2} C \rho \delta \pi r(x) v(x)^2 dx \quad (4.6)$$

unde:  $C$  = coeficientul de rezistență (pentru secțiuni circulare orizontale perfecte  $C = 0,30$ , ceea ce nu corespunde realității mai ales pentru coronament);  $\rho$  = densitatea aerului ( $\rho = 1,294 \text{ kg/m}^3$  la  $0^\circ\text{C}$ );  $v(x)$  = viteza vântului la înălțimea  $h-x$  de la sol;  $\delta < 1$  pentru intervalul  $x = 0$  și  $x = h_1$ , adică pentru coronament, datorită golurilor;  $\delta = 1$  pentru intervalul

$x = h_1$  și  $x = h$ , adică pentru trunchi.

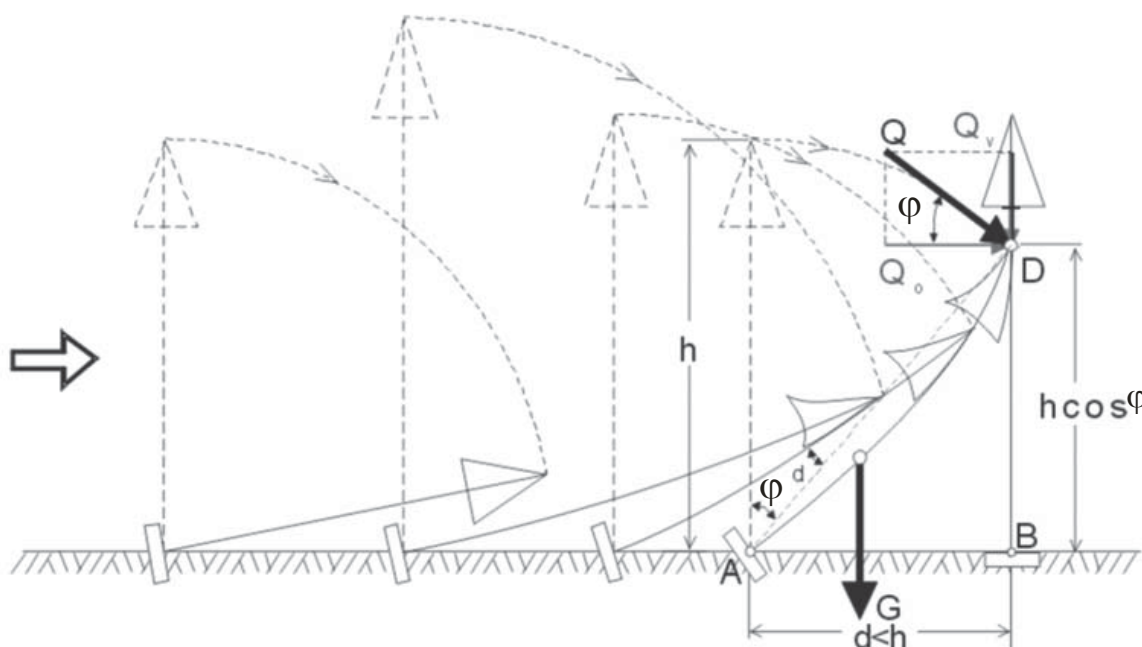
Rezultantele forțelor de presiune și centrele lor de presiune sunt:

$$P_1 = \int_0^{h_1} dP(x) ; \quad x_{1P} = \frac{\int_0^{h_1} x dP(x)}{P_1} ; \quad P_2 = \int_{h_1}^h dP(x) ; \quad x_{2P} = \frac{\int_{h_1}^h x dP(x)}{P_2} \quad (4.7)$$

$$P = P_1 + P_2 ; \quad x_P = \frac{P_1 x_{1P} + P_2 x_{2P}}{P} \quad (4.8)$$

### 4.3. Impactul arborilor în cădere.

Arborii dezrădăcinați, care se află pe același aliniament cu direcția vântului, în căderea lor, lovesc arborii în picioare din calea lor. În punctul de contact are loc un impact, datorită fenomenului de percusiune (ciocnire) (fig.4.2).



**Figura 3. Impactul arborilor în cădere.**

**Figure 3. Falling trees impact**

Forța de percuzie  $Q$  a arborelui în cădere este:

$$Q = \frac{J_A}{h} \sqrt{\frac{2Gl(1 - \cos \varphi)}{J_A}} \quad (4.9)$$

Unde  $J_A$  = momentul de inerție al elevației în raport cu  $A$  al arborelui în cădere;  $h$  = înălțimea arborelui în cădere;  $G$  = greutatea elevației;  $l$  = distanța de la punctul  $A$  la punctul de aplicație a forței  $G$ ;  $\varphi$  = unghiul format de verticală și axa arborelui în momentul impactului;  $d$  = distanța  $AB$  (fig.4.2).

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{h^2 - d^2}{h^2}} \quad (4.10)$$

Forța  $Q$  se descompune într-o componentă orizontală  $Q_o$  și una verticală  $Q_v$  ;

$$Q_o = Q \cos\varphi \quad ; \quad Q_v = Q \sin\varphi \quad (4.11)$$

Pentru  $n$  arbori în cădere, impactul asupra arborelui în picioare este:

$$Q_t = Q_n + \sum_{i=1}^{i=n-1} Q_i \cos \delta_i \quad (4.12)$$

Forța  $Q_t$  se descompune, într-o componentă orizontală și una verticală, ca și în cazul forței  $Q$ .

Forțele  $Q_n$  și  $Q_i$  se determină conform relației (4.9)

#### 4.4. Forțele de legătură (pasive)

Sistemul radicular al arborilor forestieri, constituie o fundație cu o structură foarte complexă, formată biomasa rădăcinilor împreună cu terenul aferent.

Caracteristica biologică a sistemului radicular constă în faptul că este un organism viu care își schimbă dimensiunile, odată cu creșterea trunchiului și coroanei..

Caracteristica mecanică a sistemului radicular constă în faptul că rădăcinile sale formează o rețea foarte complexă de armare a terenului și de ancorare în acesta. Rețeaua de armare și ancorare formată din rădăcini, are dimensiuni variabile, secțiunile transversale, micșorându-se spre extremitățile libere.

Lungimea rețelei rădăcinilor crește cu vârsta. Astfel pentru un molid cu diametrul de bază de 8 cm, lungimea rețelei, fără lungimea ramificațiilor firelor radicare, este de 4200 m, iar pentru un diametru de bază de 40 cm, lungimea este de 46800m, aceste valori medii fiind orientative ( I.Decei). Conform principiului acțiunii și reacțiunii, sub efectul forțelor active, rădăcinile ancore preiau solicitările la *tracțiune* iar terenul aferent cele de *compresiune*. Forțele de legătură depind în primul rând de următorii factori: structura și proprietățile mecanice ale rădăcinilor; repartiția spațială și modul de ancorare ale rădăcinilor ; structura și proprietățile fizico-mecanice ale terenului, dintre care umiditatea are un rol esențial; interacțiunea dintre rădăcini și terenul aferent.

Modul de repartiție al forțelor elementare de legătură este foarte variabil, datorită structurii foarte complexe. Totuși, având în vedere că modelul biomecanic este un corp de rotație, respectiv un cilindru, și că în realitate rădăcinile principale și cele laterale, converg în general, ca direcție, către punctul teoretic de încastrare  $O_1$  (fig.4.1.a), se poate considera că direcțiile forțelor elementare de legătură și rezultantele lor  $T$  (tracțiune) și  $C$ (compresiune) converg în același punct.

Rezultă că, pentru arborele solicitat de forțe exterioare, în stadiu de *echilibru stabil*(fig.4.1.a), pe o parte din suprafețele de contur acționează tracțiunile din rădăcini, iar pe restul compresiunile din teren și rădăcini.

Cuantificarea acestor forțe de legătură, la un moment dat, implică adoptarea unui model de repartiție a acestora , pe suprafețele de contur. In acest context este adoptată repartiția liniară a forțelor elementare de legătură pe suprafețele de contur, fapt ce facilitează și stabilirea rezultatelor  $T$  și  $C$ .(fig.4.1.a)

## 5. Echilibrul limita exterior.

### 5.1. Caracteristicile echilibrului limită exterior (fig.4.1.b).

*Echilibrul limită exterior*, este definit de situația în care un arbore trece din echilibrul stabil în echilibrul nestabil, ceea ce înseamnă că prin dezrădăcinare, acesta se răstoarnă.

În acest caz, caracteristicile mecanice ale echilibrului limită sunt:

-Suma momentelor în raport cu punctul A al forțelor ce acționează asupra arborelui, este nul, adică momentul de stabilitate  $M_s$  este egal cu momentul de răsturnare  $M_r$ :

$$M_s = M_r \quad (5.1)$$

-Forțele de tracțiune din ancorajele rădăcinilor, sunt extinse pe toată suprafața de contur a sistemului radicular, caz în care acestea și rezultanta lor T atinge mărimea maximă și este egală cu *tracțiunea critică de dezrădăcinare*  $T_{cr}$  (de rupere, de cedare a ancorajului):

$$T = T_{\max} = T_{cr} \quad (5.2)$$

-Punctul de aplicație al rezultantei  $T_{\max} = T_{cr}$  este punctul  $O_1$ .

-Tracțiunea critică de dezrădăcinare  $T_{cr}$  reprezintă *capacitatea de ancorare a sistemului radicular*. Această mărime depinde de factorii staționali, proprietățile fizico-mecanice ale terenului și mod special de umiditatea acestuia.

-Forțele de compresiune, se concentrează în punctul A, care devine astfel o *articulație ancorată*, în jurul căreia arborele de rotește în cădere. Rezultanta acestor forțe de compresiune C are punctul de aplicație în A.

Datorită forțelor exterioare elevația se deformează ca urmare a solicitării sale la *încovoiere și compresiune (compresiune excentrică)*, fapt ce face ca funcție de mărimea deformației o forță stabilizatoare, să devină o forță destabilizatoare.

Săgeata axei deformație a elevației, într-o secțiune, rezultă din aplicarea uneia din metodele existente, și anume cea a ecuației diferențiale a axei deformație, pentru o bară omogenă și izotropă, cu secțiune variabilă, încastrată la o extremitate, solicitată la încovoiere și compresiune de forțe continue neuniform distribuite:

$$EI(x) \frac{d^2y}{dx^2} + y(x) = -M(x) \quad (5.3)$$

unde E= modulul lui Young; I(x) = momentul de inerție geometric al secțiunii x; y(x) = săgeata axei deformație în secțiunea x; N(x) = forța de compresiune în secțiunea x; M(x) = momentul de încovoiere în secțiunea x.

Se poate considera că săgețile punctelor de aplicație ale forțelor  $G$  și  $P$  sunt aproximativ egale:

$$y_G = y_P = y \quad (5.4)$$

## 5.2. Echilibrul limită pe teren orizontal (fig.4.1.b).

În acest caz, liniile de curent ale vântului sunt paralele cu planul orizontal, respectiv cu curbele de nivel ale versanților.

Momentele de stabilitate și de răsturnare pentru echilibru limită sunt:

$$\text{-Pentru } y < b \quad M_{s1} = (T_x + G_3)b + G(b-y) \quad ; \quad M_{r1} = Ps \quad (5.5)$$

$$\text{-Pentru } y = b \quad M_{s2} = (T_x + G_3)b \quad ; \quad M_{r2} = Ps \quad (5.6)$$

$$\text{-Pentru } y > b \quad M_{s3} = (T_x + G_3)b \quad ; \quad M_{r3} = Ps + G(y-b) \quad (5.7)$$

În relațiile (5.5), (5.6) și (5.7)  $T_{\max} = T_{cr}$  s-a notat simplu cu  $T$ .

Pentru  $y = b$ , greutatea elevației  $G$  este neutră, iar pentru  $y > b$ , devine o forță destabilizatoare, când situația este cea mai defavorabilă.

Se observă că în componența momentelor de stabilitate, apar în toate cazurile forțele stabilizatoare  $T_x$  și  $G_3$ , fapt ce justifică afirmația că *tracțiunea maximă egală cu tracțiunea critică de dezrădăcinare din ancoraj (capacitatea de ancorare a sistemului radicular)* și *greutatea proprie* a acestui sistem reprezintă *parametrii fundamentali ai stabilității arborilor*.

Este evident că o fundație fără armare și ancoraj în teren, numai cu greutatea proprie, nu ar putea asigura stabilitatea arborelui la răsturnare și portanța terenului.

Din condiția de echilibru limită,  $M_s = M_r$ , aplicată relațiilor (5.5), (5.6) și (5.7) deducem componenta verticală a tracțiunii maxime (de rupere) pentru cele trei cazuri:

$$\text{-Pentru } y < b \quad T_{x1} = \frac{1}{b} [Ps - G(b-y) - G_3b] \quad (5.8)$$

$$\text{-Pentru } y = b \quad T_{x2} = \frac{1}{b} [Ps - G_3b] \quad (5.9)$$

$$\text{-Pentru } y > b \quad T_{x3} = \frac{1}{b} [Ps + G\{y-b\} - G_3b] \quad (5.10)$$

Relația (5.9), pentru  $y = b$ , este mai simplă pentru calculul forței  $T_x$ , deoarece elimină determinarea săgeții  $y$  a axei deformată a elevației.

Cum toți parametrii din dreapta semnelui egalității din ecuațiile de mai sus sunt cuantificabili, și componenta  $T_x$  este cuantificabilă.

Componenta orizontală  $T_{ry}$  este:

$$T_y = T_x \operatorname{ctg} \theta \quad ; \quad \operatorname{ctg} \theta = \frac{b}{a} \quad ; \quad T_y = T_x \frac{b}{a} \quad (5.11)$$

Rezultanta este:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = \frac{T_x}{a} \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5.12)$$

Dacă se ia în considerare impactul arborilor în cădere, momentul de răsturnare suplimentar pentru un singur arbore în cădere (fig.4.2), este:



$$M_{rQ} = Q_0 h \cos \varphi = Q h \cos^2 \varphi \quad (5.13)$$

Acest moment de răsturnare suplimentar este maxim când  $d = AB = 0,602h$ .

Pentru  $n$  arbori în cădere, momentul de răsturnare suplimentar este:

$$M_{rQn} = [Q_n \cos \varphi + \sum_{i=1}^{i=n-1} Q_i \cos \delta_i \cos \varphi_i] h_n \cos \varphi \quad (5.14)$$

### 5.3. Echilibrul limită pe versanți (fig.5.1).

#### 5.3.1. Zonele afectate de doborâturi de vânt.

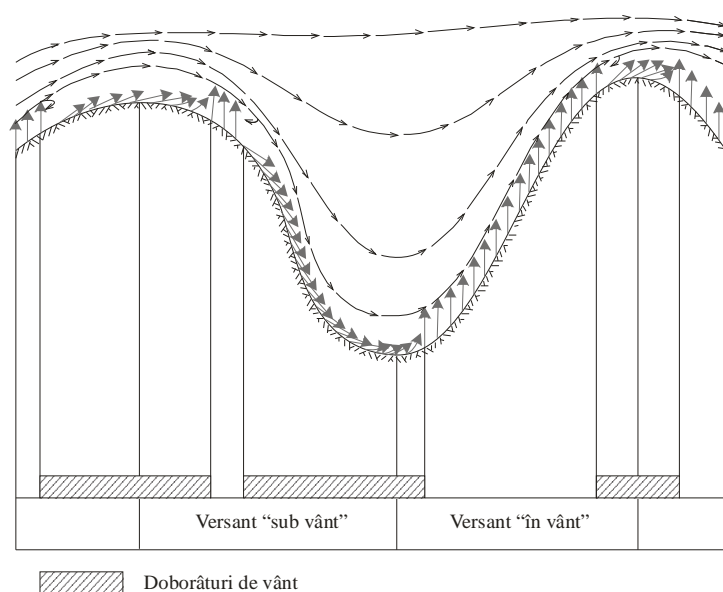
Pe versanții catenelor muntoase paralele, situate în calea liniilor de curent ale vântului, zonele în care se produc doborâturi sunt redate în figura (5.1), pe baza cercetărilor efectuate în țara noastră și pe plan mondial.

Pe versanții “*sub vânt*”, pe o porțiune din creastă, se produc doborâturi, apoi pe o distanță relativ mică, funcție de pantă și de viteza curentului de aer, arboretul rămâne stabil, pentru ca apoi pe restul versantului, prin prăbușirea acestui cursent, să fie doborâți toți arborii până la firul văii.

La versanții “*în vânt*”, se produc doborâturi la piciorul versanților, ca apoi prin diminuarea intensității acestuia, arboretele pe versanți rămân stabile, doborâturile producându-se pe creastă.

Rezultă că arboretele așezate “*în vânt*” sunt, în general, mai stabile ca cele situate “*sub vânt*”.

Arboretele de la picioarele versanților, de o parte și de alta a văilor orientate perpendicular pe direcția vântului, și cele situate pe creste sunt cele mai solicitate



**Figura 4. Zonele cu doborâturi pe versanți**

**Figure 4. Wind thrown areas on the versants**

#### 5.3.2. Echilibrul limită pe versanți (fig.5.2).

Rezultanta forței de presiune a vântului  $P$ , se descompune într-o componentă orizontală  $P_o$ , și una verticală  $P_v$ :

$$P_o = P \cos \alpha \quad ; \quad P_v = P \sin \alpha \quad (5.15)$$

Momentele de stabilitate și de răsturnare (semnul + pentru versanții *sub vânt*, iar semnul – pentru versanții *în vânt*), fără a lua în considerare impactul arborilor în cădere sunt:

-Pentru  $y < b \cos \alpha$

$$M_{s1} = (T_x + G_3) b \cos \alpha + (G + P_v)(b \cos \alpha - y) \quad ; \quad M_{r1} = P_o (s \pm b \sin \alpha) \quad (5.16)$$

-Pentru  $y = b \cos \alpha$  :

$$M_{s2} = (T_x + G_3) b \cos \alpha \quad ; \quad M_{r2} = P_o (s \pm b \sin \alpha) \quad (5.17)$$

-Pentru  $y > b \cos \alpha$  :

$$M_{s3} = (T_x + G_3) b \cos \alpha \quad ; \quad M_{r3} = P_o (s \pm b \sin \alpha) + (G + P_v)(y - b \cos \alpha) \quad (5.18)$$

Se observă că în cazul  $y < b \cos \alpha$  componenta  $P_v$  este o forță stabilizatoare, iar în cazul  $y > b \cos \alpha$  este împreună cu  $G$  forță destabilizatoare.

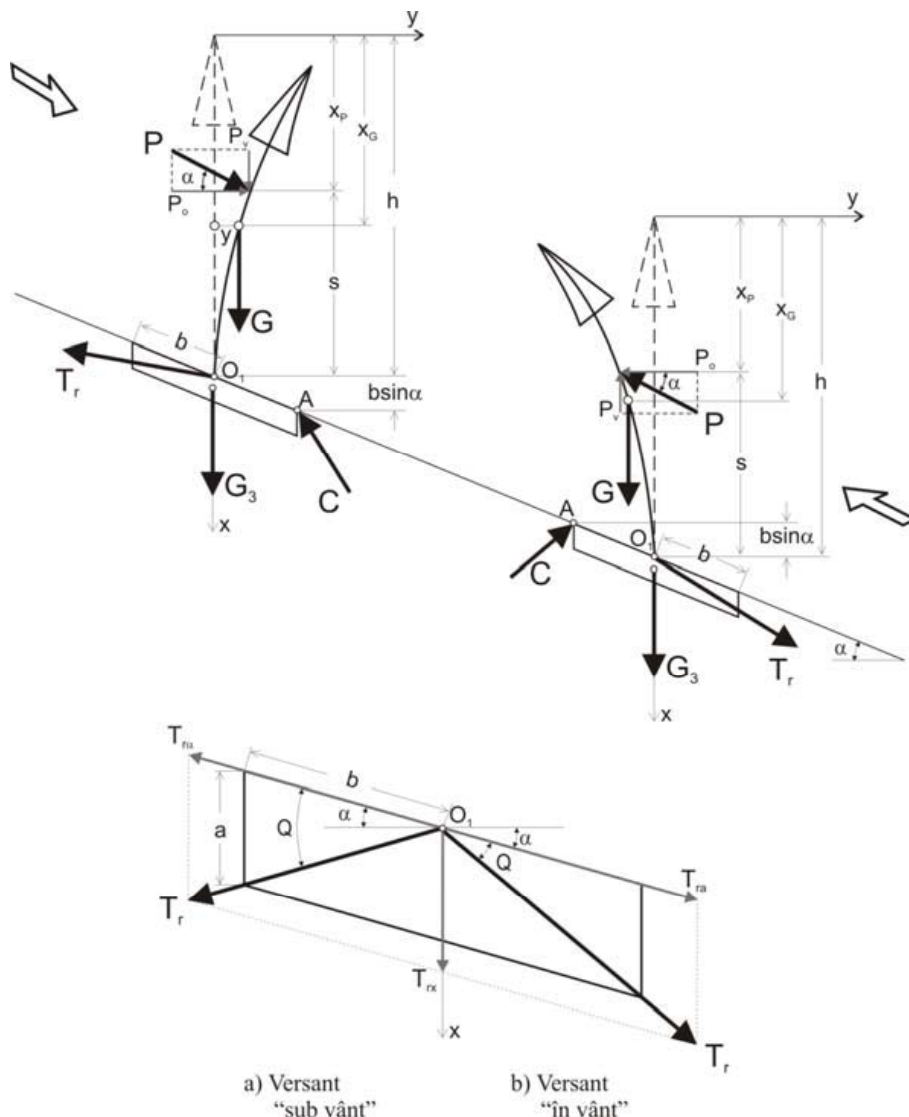


Figura 5. Echilibrul limită pe versanți  
 Figure 5. Extreme equilibrium on the versants

Ca și în cazul (5.2), prin egalarea momentelor de la (5.16), (5.17) și (5.18), se obțin relațiile pentru determinarea componentelor tracțiunii  $T_{x1}$ ,  $T_{x2}$ ,  $T_{x3}$ . Astfel:

-Pentru  $y < b \cos \alpha$ :

$$T_{x1} = \frac{1}{b \cos \alpha} [P_o(s \pm b \sin \alpha) - (G + P_v)(b \cos \alpha - y) - G_3 b \cos \alpha] \quad (5.19)$$

-Pentru  $y = b \cos \alpha$ :

$$T_{x2} = \frac{1}{b \cos \alpha} [P_o(s \pm b \sin \alpha) - G_3 b \cos \alpha] \quad (5.20)$$

-Pentru  $y > b \cos \alpha$ :

$$T_{x3} = \frac{1}{b \cos \alpha} [P_o(s \pm b \sin \alpha) + (G + P_v)(y - b \cos \alpha) - G_3 b \cos \alpha] \quad (5.21)$$

Greutatea fundației  $G_3$  ca și a elevației  $G$  nu se modifică funcție de panta terenului.

Componenta tracțiunii  $T_\alpha$  după înclinarea versantului, în contextul greutății constante a arborelui este dată de relația:

$$T_\alpha = \frac{b}{a} T_x \quad (5.22)$$

unde  $T_x$  este funcție de  $\alpha$ .

Rezultanta tracțiunilor  $T$  este:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_\alpha^2 \mp 2T_x T_\alpha \sin \alpha} \quad (5.23)$$

Semnul – pentru versanții *sub vânt*, semnul + pentru versanții *în vânt*.

Dacă se ia în considerare și impactul arborilor în cădere, momentul suplimentar de răsturnare este (figura 5.3):

$$M_{rQ} = Q_o(h \cos \varphi \pm d \tan \alpha) = Q \cos \varphi (h \cos \varphi \pm d \tan \alpha) \quad (5.24)$$

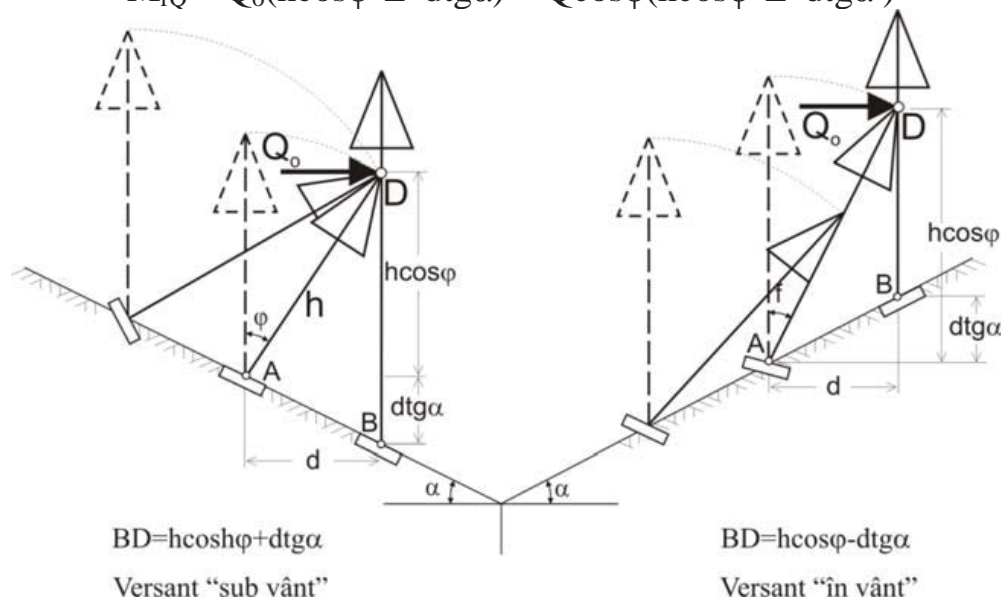


Figura 6. Impactul arborilor în cădere pe versanții „în vânt” și „sub vânt”

Figure 6. The impact of falling trees on wind exposed and wind sheltered versants

### 5.3. Impactul arborilor în cădere pe versanți

## 6. Echilibrul limită interior.

*Echilibrul limită interior*, rezultă din situația în care sub acțiunea solicitărilor exterioare, rezistența efectivă a lemnului ajunge la valoarea limită de rupere, caz în care se produc rupturi de vânt.

Fusul molidului și ramurile aferente sunt solificate la încovoiere și compresiune.

Conform formulei generalizate a lui Navier, stabilitatea interioară este asigurată când eforturile unitare normale efective  $\sigma_{ef}$  sunt mai mici decât eforturile unitare normale de rupere  $\sigma_r$ , adică:

$$\sigma_{ef}(x) = \frac{N(x)}{A(x)} \pm \frac{M(x)}{w(x)} \leq \sigma_r \quad (6.1)$$

unde în secțiunea (x): N = forța axială; A = aria secțiunii; M = momentul de încovoiere;

w(x) = modulul de rezistență axial.

## 7. Concluzii

1. Stabilitatea molizilor, la solicitările mecanice exterioare, depinde de o serie de factori menționați, dar este asigurată în primul rând de comportamentul sistemului radicalar, în diverse situații date.

2. Sistemul radicalar al molidului constituit din rădăcini trasante, formează o rețea foarte complexă de armare a terenului și de ancorare în acesta, sistem care asigură stabilitatea arborelui.

3. Modelul biomecanic adoptat, ia pentru prima dată în considerare, capacitatea de ancorare a sistemului radicalar, ca fiind unul din parametrii fundamentali ai stabilității molidului,

4. Stabilitatea molizilor la acțiunea vânturilor, este în funcție de parametrii mecanici luați în considerare, în condițiile satisfacerii celor trei condiții de stabilitate necesare și suficiente:

- Momentul de stabilitate  $M_s$  al forțelor stabilizatoare să fie mai mare ca momentul de răsturnare  $M_r$  al forțelor destabilizatoare, adică:

$$M_s > M_r \quad (7.1)$$

- Tracțiunea maximă din sistemul radicalar  $T_{max}$  să fie mai mică decât tracțiunea critică de dezrădăcinare  $T_{cr}$ :

$$T_{max} < T_{cr} \quad (7.2)$$

- Terenul să fie stabil.

5. Momentul de stabilitate depinde în principal de :

- Greutatea proprie a sistemului radicalar.

- Capacitatea de ancorare a sistemului radicalar.

Fără rețeaua de armare și ancorare a rădăcinilor, numai greutatea proprie, nu ar putea asigura stabilitatea la răsturnare și cufundare în teren.

- Greutatea elevației și zveltețea fusului, pentru o săgeată a axei deformată de  $y < b$ .

6. Momentul de răsturnare depinde în principal de:

- Viteza și direcția vântului.

- Greutatea elevației și zveltețea acesteia pentru săgeata de  $y > b$ .

- Impactul arborilor în cădere.

7. Pentru aceiași viteză a vântului, aceiași pantă și același arbore, pe versanții „*sub vânt*”, momentul de răsturnare este mai mare decât momentul de răsturnare pe versanții „*în vânt*”, fapt confirmat de realitate, de mărirea suprafețelor cu doborâturi de vânt.

8. Momentul de răsturnare al impactului arborilor în cădere este maxim pentru o distanță dintre aceștia de 0,602h.

9. Existența datelor dendrometrice privind molidul și arboretele de molid, cât și posibilitățile moderne de efectuarea măsurărilor pe suprafețele cu doborâturi de vânt, prelucrarea acestora, facilitează cuantificarea tuturor parametrilor biomecanici de stabilitate, în diverse condiții staționale și la diverse scheme de solicitări posibile.

## Bibliografie

Academia R.S.România, 1989, Biomecanica, Coordonatori Denischi A. et al”, Editura Academiei R.S.R.

Danciu M., Parascan D., 2002, Botanică forestieră, Editura Pentru Viață Brașov.

Giurgiu V., Decei., 1997, Biometria arborilor din România, Editura Snagov București.

Grudnicki F., 1994, Contribuții la biomecanica formei arborilor, Analele Universității “Ștefan Cel Mare” Suceava, Seria silvicultură, Vol. I.

Grudnicki F., 2002, Considerații biomecanice privind stabilitatea arborilor în masiv la acțiunea vântului, Comunicare prezentată la Sesiunea științifică “Pădurea și viitorul” a Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere Brașov din 8 Noembrie 2002.

Grudnicki F. 2003, Biomecanica sistemelor radicele ale arborilor forestieri, Revista-Bucovina Forestieră, Anul XI, nr. 1/2003.

Horodnic S., Zarojanu D., 2002, Despre un model statistic al formei trunchiului arborilor de molid, Comunicare prezentată la Sesiunea științifică “Pădurea și viitorul” a Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere Brașov din 8 Noembrie 2002.

Manualul Inginerului Forestier, 81, 1955, Editura Tehnică.

Mihul A., 1989. Construcții de beton armat, Editura Didactică și Pedagogică București

Redlov T. 1969, Curs general de rezistența materialelor, Vol I-II, Institutul Politehnic Brașov.

Redlov T., 1977, Mecanica teoretică, Universitatea Brașov.

Zarojanu D., 2000, Geotehnică pentru construcții forestiere, Editura Universității din Suceava.

## **Abstract**

### **The Stability of Norway Spruce to Wind Action**

Stability of Norway spruce trees to wind action is being analyzed from the biomechanical point of view, considering the roots as a reinforced anchor system onto the ground. In this context there have been established formulas for traction forces in the rooting system that stand for roots' anchoring capability, as one the basic parameters for trees' stability.

**Keywords:** Norway spruce, stability, biomechanics.

---

Ing Francisc GRUDNICKI,  
Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava,  
Facultatea de Silvicultură, silvic@usv.ro