

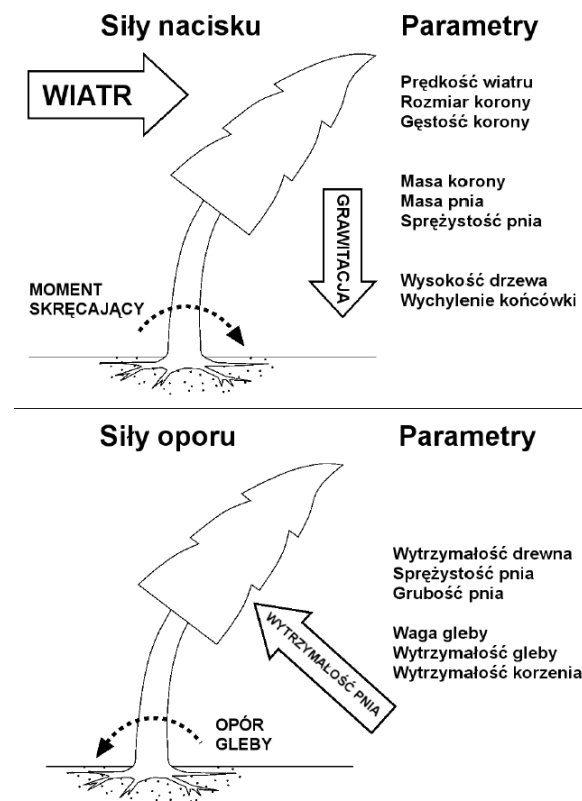
Symulacja zniszczeń lasu przez huragan

Mariusz Nyznar, Krzysztof Gądek, Jacek Pietras

19 listopada 2014

1 Model HWIND

Model łamliwości drzew HWIND powstał w celu wyznaczania maksymalnej prędkości wiatru przy których drzewo ulegnie złamaniu lub wyrwaniu (dla lasów sztucznie zalesianych). Został on opracowany dla sosny zwyczajnej i świerku pospolitego.



Rysunek 1: Rozkład sił działających na drzewo dla modelu HWIND. Źródło: [2].

Rysunek 1 przedstawia siły działające na drzewo. Dokonany został podział na siły poziome i pionowe. Pod naporem wiatru drzewo ugina się do momentu osiągnięcia punktu krytycznego, gdy siły nacisku (siła wiatru, siła grawitacji) zrównają się z siłami oporu (wytrzymałość pnia, wytrzymałość gleby wokół korzenia).

W celu wyznaczenia maksymalnego momentu skręcającego i granicznej prędkości wiatru przy której nastąpi zniszczenie drzewa, podzielone zostały one na 1 metrowe segmenty, dla których wyznaczone zostaną wartości sił.

1.1 Siły nacisku

Całkowita pozioma siła wiatru F_w uzyskana zostaje poprzez sumowanie wartości siły wiatru obliczonej osobno dla każdego 1 metrowego segmentu [7]. Siła dla poszczególnego segmentu uzyskiwana jest ze wzoru:

$$F_w(z) = \frac{1}{2} C_d \rho v_h^2 A(z) \quad (1)$$

gdzie

C_d – współczynnik tarcia

ρ – gęstość powietrza

v_h – prędkość pozioma dla danego segmentu

$A(z)$ – przewidywana wielkość korony drzewa stawiająca opór wiatrowi

W celu uproszczenia obliczeń dokonana została aproksymacja powierzchni korony drzewa przez trójkąt równoramienny (świerk pospolity). Pole powierzchni pnia jest reprezentowane przez prostokąt. Model ten przedstawia rysunek 2.

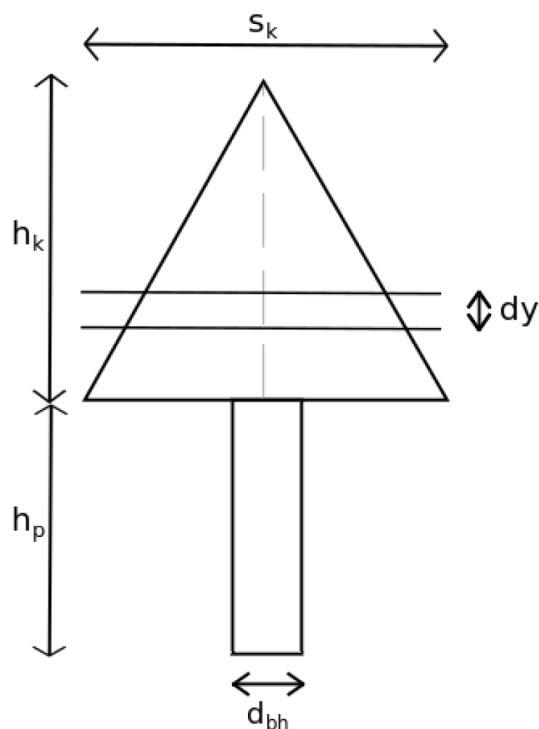
W modelu należy uwzględnić fakt, iż pod wpływem wiatru powierzchnia korony ulega zmniejszeniu [7]. Redukcja powierzchni wynosi 20% dla prędkości mniejszych od $11 \frac{m}{s}$, dla większych od $20 \frac{m}{s}$ – 60%. Dla wartości pomiędzy nimi współczynnik przepływu wiatru S_t jest wyznaczany z następującego wzoru:

$$S_t(z) = 0.044444v(z) - 0.28889 \quad (2)$$

gdzie

$v(z)$ – prędkość wiatru na wysokości z

Powierzchnia $A(z)$ wyznaczana jest przez jej iloczyn ze współczynnikiem S_t .



Rysunek 2: Model powierzchni stawiającej opór wiatrowi. s_k oznacza szerokość korony, h_k – wysokość korony, h_p – wysokość pnia, d_{bh} – średnicę pnia, d_y – wycinek powierzchni o wysokości 1m użyty przy w modelu HWIND. Źródło: [2].

Siła grawitacji wyznaczana jest dla każdego segmentu drzewa, a następnie sumowana. Wyznaczana jest ze wzoru:

$$F_g(z) = m_c g \quad (3)$$

gdzie

m_c – masa korony drzewa

g – przyspieszenie ziemskie

1.2 Maksymalny moment skręcający drzewa

Maksymalny moment skręcający drzewa $B_{max}(z)$ wyznaczamy dla każdego segmentu poprzez sumę siły wiatru $F_w(z)$ pomnożonej przez wysokość Δz , oraz siły grawitacji $F_g(z)$ pomnożonej przez odchylenie czubka drzewa od pionu $x(z)$ [8]. Suma następnie zostaje pomnożona przez stosunek między maksymalnym, a średnim momen-

tem ugięcia f_{gust} oraz stosunek pomiędzy maksymalnym, a średnim współczynnikiem odległości pomiędzy drzewami f_{gap} . Zależność ta jest wyrażona następującym wzorem:

$$B_{max}(z) = f_{gust} f_{gap} [F_w(z) \Delta z + F_g(z) x(z)] \quad (4)$$

Odchylenie czubka od pionu używane w powyższym wzorze (4) wyznaczane jest za pomocą wzoru [8]:

$$x(z) = \begin{cases} \frac{F_w a^2 h (3 - \frac{a}{h} - \frac{3l(z)}{h})}{6 \cdot MOE \cdot I} & \text{dla } z \leq a \\ \frac{F_w a^3 (2 - \frac{3(l(z)-b)}{a} + \frac{(l(z)-b)^3}{a^3})}{6 \cdot MOE \cdot I} & \text{dla } z > a \end{cases} \quad (5)$$

gdzie

a – wysokość środka korony

h – wysokość drzewa

$l(z)$ – odległość od czubka drzewa na wysokości z

MOE – współczynnik elastyczności drzewa

I – powierzchniowy moment bezwładności ($I = \pi \frac{d_{bh}^4}{64}$, gdzie d_{bh} to średnica drzewa na wysokości 1.3m)

b – odległość między czubkiem drzewa, a środkiem korony

Jak podaje źródło [6] drzewa zachowują się inaczej pod napływem wiatru w zależności od tego jaka odległość dzieli je od ściany lasu. Proporcje zmian wyrażają wzory (6) oraz (7):

Dla momentu ugięcia:

$$\begin{aligned} Gust_{mean} &= (0.68 \frac{s}{h} - 0.0385) + (-0.68 \frac{s}{h} + 0.4875)(1.7239 \frac{s}{h} + 0.0316) \frac{x}{h} \\ Gust_{max} &= (2.7193 \frac{s}{h} - 0.061) + (-1.273 \frac{s}{h} + 9.9701)(1.1127 \frac{s}{h} + 0.0311) \frac{x}{h} \\ f_{gust} &= \frac{Gust_{max}}{Gust_{mean}} \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie

s – odległość między drzewami

h – średnia wysokość drzew w lesie

Dla współczynnika odległości pomiędzy drzewami:

$$\begin{aligned} Gap_{mean} &= \frac{0.001 + 0.001 p^{0.562}}{0.00465} \\ Gap_{max} &= \frac{0.0072 + 0.0064 p^{0.3467}}{0.0214} \\ f_{gap} &= \frac{Gap_{max}}{Gap_{mean}} \end{aligned} \quad (7)$$

gdzie

p – szerokość pasa wolnej przestrzeni przed ścianą lasu.

1.3 Siły oporu

Wyznaczenie wartości sił oporu drzewa dokonane zostało na podstawie wzorów (8) oraz (9). Pień drzewa nie pęka do momentu w którym siła wiatru F_w nie rozerwie włókien w zewnętrznych partiach kory. Wytrzymałość wyznacza się na wysokości $1.3m$ (wysokość klatki piersiowej człowieka) [7], jest ona reprezentowana przez współczynnik pękania drewna MOR .

Wytrzymałość pnia:

$$M_{bk} = \frac{\pi}{32} MOR d_{bh}^3 \quad (8)$$

gdzie

MOR – współczynnik pękania drewna

d_{bh} – średnica drzewa na wysokości $1.3m$

Wytrzymałość korzenia wyznaczana jest w następujący sposób:

$$M_{ov} = \frac{g R_{mass} R_{depth}}{f_{RW}} \quad (9)$$

gdzie

g – przyspieszenie ziemskie

R_{mass} – masa korzenia

R_{depth} – głębokość korzenia

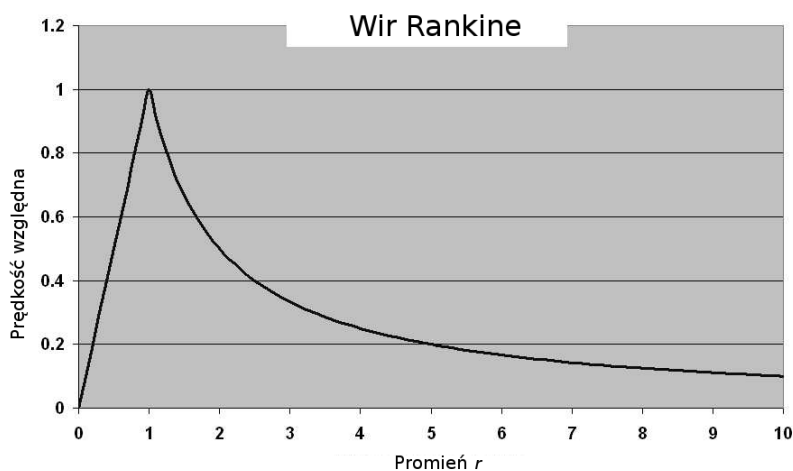
f_{RW} – stosunek wagi gleby do masy drzewa

Gdy moment ugięcia (4) przekroczy wytrzymałość pnia (8) drzewo zostanie złamane. Gdy moment ugięcia przekroczy wytrzymałość gleby wokół korzeni (9) – drzewo zostanie wyrwane.

W projekcie symulacja dokonana została dla sosny zwyczajnej. Dla niej też zostały dobrane charakterystyczne wartości parametrów.

2 Model tornada Rankine

Używany przez symulację model tornada został stworzony przez Williama Johna Macquorna Rankine w połowie XIX wieku [3]. Zakłada on, iż zaczynając od środka, czyli tzw. oka tornada, prędkość wiatru zwiększa się liniowo aż do osiągnięcia swojego maksimum przy promieniu R , a następnie wraz ze zwiększaniem promienia maleje wykładniczo.



Rysunek 3: Zależność między prędkością wiatru a odległością od oka tornada. Źródło: [4].

Zależności z wykresu przedstawionego na rysunku 3 reprezentowane są za pomocą równań współrzędnych biegunowych. Prędkość trawersalna (prędkość przemieszczania się w kierunku prostopadłym do promienia) opisana jest wzorem:

$$V_{\varphi}(r) = \begin{cases} \frac{V_{\varphi max} \cdot r}{R_{max}} & \text{gdy } r \leq R_{max} \\ \frac{V_{\varphi max} \cdot R_{max}}{r} & \text{gdy } r > R_{max} \end{cases} \quad (10)$$

gdzie

V_{φ} – prędkość trawersalna (prędkość przemieszczania się w kierunku prostopadłym do promienia r)

$V_{\varphi max}$ – maksymalna trawersalna prędkość wiatru

r – odległość punktu od środka tornada

R_{max} – maksymalny promień tornada

Podobnie do prędkości trawersalnej została opisana prędkość radialna. Różnicą jest to, iż iloraz promieni jest podniesiony do potęgi o wykładniku 0.6. Stała ta została wyznaczona doświadczalnie za pomocą przenośnego radaru Dopplera [1].

$$V_r(r) = \begin{cases} V_{rmax} \left(\frac{r}{R_{max}} \right)^{0.6} & \text{gdy } r \leq R_{max} \\ V_{rmax} \left(\frac{R_{max}}{r} \right)^{0.6} & \text{gdy } r > R_{max} \end{cases} \quad (11)$$

gdzie

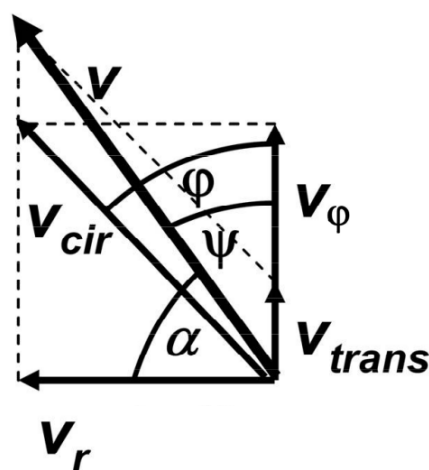
V_r – prędkość radialna (prędkość zmiany długości promienia r)

V_{rmax} – maksymalna radialna prędkość wiatru

r – odległość punktu od środka tornada

R_{max} – maksymalny promień tornada

Te dwie wielkości opisują model statycznego tornada. Aby przeprowadzić symulację tornada przechodzącego przez las, wprowadzony jest dodatkowy wektor prędkości – prędkość translacji V_{trans} . Prędkość wiatru w modelu będzie wypadkową wszystkich tych trzech wielkości, przy czym wypadkowa prędkości trawersalnej V_φ oraz prędkości radialnej V_r nazywana jest prędkością cyrkularną V_{cir} .



Rysunek 4: Składowe prędkości modelu tornada oraz ich wypadkowe. Źródło: [5].

Literatura

- [1] H. Bluestein. Mobile doppler radar observations of tronadoes, 2007.
- [2] Radosław Chmielarz. Modelowanie gwałtownych zjawisk atmosferycznych. Master's thesis, AGH, 2011.
- [3] F. Stel D. B. Giaiotti. The rankine vortex model. 2006.
- [4] K. T. Kilty. Steady-state tornado vortex models. 2005.
- [5] B. Feuerstein M. Hubrig N. Dotzek, R. E. Peterson. Comments on a simple model for simulating tornado damages in forests. 2007.

-
- [6] H. Peltola. Mechanical stability of trees under static loads. 2006.
- [7] H. Peltola and S. Kellomäki. *A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage at stand edge*. Silva Fennica, 1993.
- [8] Jarosław Wąs Radosław Chmielarz. System for simulating tornado damages in forests. *Ofcyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, 2011.