

Janusz Szyber
Katedra Podstaw Inżynierii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

NIEKTÓRE ASPEKTY ŚNIEGOŁOMÓW W MŁODSZYCH DRZEWOSTANACH SOSNOWYCH

Streszczenie

W pracy przedstawiono niektóre mechaniczne aspekty analizy śniegołomów strzał sosny w wieku 24-30 lat. Mierzono parametry uszkodzonych drzew, opisywano położenie drzewa i rodzaj zniszczenia spowodowanego okiścią. Zaproponowano metodę określania symetryczności korony. Wykorzystując pojęcie smukłości odcinka wyjaśniono zlokalizowanie złamania strzał. W przekrojach niebezpiecznych naprężenia krytyczne wynosiły tylko 0,39–0,53 MPa podczas gdy u podstawy odziomka średnio ok. 3 MPa. Zaobserwowano dwa rodzaje zniszczenia drzew – złamania pnia i trwałe (plastyczne) wygięcie – najczęściej aż do zetknięcia się koron z podłożem. Trwałe wygięcia zachodziły przy znacznie wyższych smukłościach niż złamania strzał.

Słowa kluczowe: wyboczenie strzały sosny, śniegołomy, smukłość strzał sosny

Geneza pracy

Na przedwiośniu 2001 roku autor był świadkiem następującego zjawiska w drzewostanach sosnowych w miejscowości Słupia, na terenie Nadleśnictwa Płock. Przez kilka kolejnych dni panowała praktycznie bezwietrzna pogoda – w dzień o temperaturze dodatniej, a w nocy ujemnej. Co pewien czas padał śnieg nadtapiając się na gałęziach w dzień, a w nocy przymarzając. Śniegu wciąż przybywało. Pewnej nocy, mroźniejszej od innych, rozległy się głośnie trzaski. Rano okazało się, że kilkaset drzew zostało albo złamanych, albo trwale wygiętych aż do ziemi. Po stopnieniu śniegów autor przeprowadził pomiary uszkodzonych drzew, mające stanowić podstawę do analizy zjawiska w aspekcie wytrzymałościowym.

Metodyka pomiarów

Charakterystyka drzewostanów

Opisane zjawisko okiści miało miejsce w drzewostanach Nadleśnictwa Płock, w oddz. 41 i, j, l, obręb Słupia, typ siedliskowy – Bśw, sosna z domieszką brzozy, w wieku 24 – 30 lat o zadrzewieniu 0,7, bonitacji III.

Dwa lata przed opisaną okiścią drzewostany były przerzedzone, zdaniem autora zbyt późno, bo zabieg ten, poprzedziło silne naturalne, nieregularne wydzielanie. Powodowało to, łącznie z nagminnymi kradzieżami, powstanie szeregu luk w zwarcu koron, nawet w postaci małych polanek.

Mierzone parametry drzew

Pomiarami objęto 174 drzew uszkodzonych okiścią. Mierzono: pierśnicę d (w k.), wysokość drzewa h , wysokość do złomu h_z , długość grubizny strzały l , długość grubizny strzały nad złomem l_n , średnicę w miejscu złomu d_z (w k.), długość korony l_k , mimośród korony e . Średnice [cm] mierzono dwoma pomiarami na krzyż z dokładnością do 0,1 cm i posługiwano się dalej wartościami średnimi. Wysokości i długości [m] mierzono z dokładnością do 5 cm. Ponadto opisywano:

- rodzaj zniszczenia (złamanie, trwale wygięcie),
- rodzaj złomu (kruchy, plastyczny),
- położenie drzewa (na skraju linii ppoż., drogi, polanki, linii oddziałowej, szlaku zrywkowego, wewnątrz drzewostanu – tzn. w zwarcu; w otoczeniu sosen lub przy brzożach działających jak rozpieracze),
- asymetrię obrysu poziomego rzutu korony, posługując się mimośrodem e rzutu.

Wyznaczanie asymetrii korony

Wyznaczanie wartości mimośrodu e korony, autor oparł o opracowaną przez niego metodę określenia symetryczności korony. Niżej przytoczone są zasadnicze elementy tej metody. Koronę drzewa, traktowaną jako przestrzenny układ punktów materialnych autor proponuje uznać za symetryczną, gdy posiada ona oś symetrii pokrywającą się z osią podłużną strzały. Ta definicja dotyczy, więc w przypadku, gdy strzała sosny jest prosta i pionowa. W przypadkach niemożliwości wyznaczenia osi symetrii, koronę autor uznaje za asymetryczną. W zależności od kształtu korony określenie tej asymetrii jest mniej lub bardziej złożone.

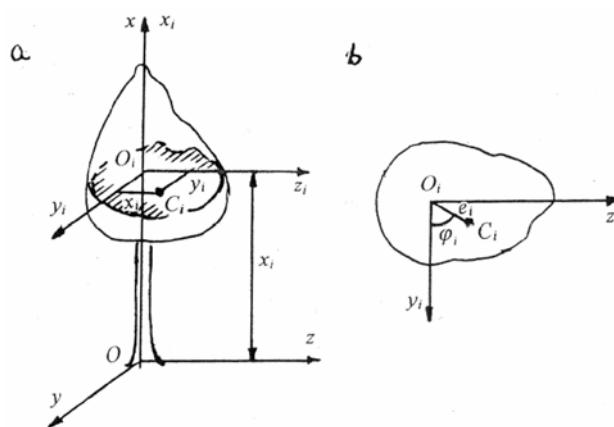
Asymetrię korony autor proponuje opisać za pomocą mimośrodków środków ciężkości poziomych przekrojów korony (które przy pionowej strzale pokrywają się z przekrojami poprzecznymi). Wymiary i kształt przekroju wyznaczają krzywe obrysu przekroju. Środki ciężkości przekrojów korony oblicza się za pomocą momentów statycznych.

Niech dana jest sosna o pionowej prostej strzale. Przyjmijmy ortogonalny układ współrzędnych $Oxyz$ o osi x pokrywającej się z osią strzały (rys. 1a). Rozpatrzmy poziomy przekroju π_i korony w odległości x_i od płaszczyzny yz . Potraktujmy ten przekrój jako figurę płaską o linii konturowej obrysowującej najbardziej wysunięte końce gałęzi korony na poziomie $x = x_i$. Przyjmując nowy układ współrzędnych $O_ix_iz_i$ taki, że oś x_i pokrywa się z osią x , $y_i||y$, $z_i||z$ i płaszczyzna π_i pokrywa się z płaszczyzną $y_i z_i$ obliczamy momenty statyczne S_{y_i} , S_{z_i} przekroju i współrzędne środka ciężkości przekroju C_i :

$$y_i = \frac{S_{z_i}}{F_i}, \quad z_i = \frac{S_{y_i}}{F_i}$$

gdzie F_i – pole przekroju.

Odcinek $O_i C_i = e_i = \sqrt{y_i^2 + z_i^2}$, nazwiemy mimośrodem przekroju korony na poziomie x_i . Położenie mimośrodu na przekroju π_i wygodniej jest określić za pomocą współrzędnych biegunowych e_i, φ_i (rys. 1b), gdzie φ_i jest kątem pomiędzy wektorem $\overline{O_i C_i}$ i osią y_i . W całej przestrzeni korony położenie mimośrodków poszczególnych jej przekrojów opisać można za pomocą współrzędnych walcowych x, e, φ .



Rys. 1. Sposób wyznaczenia asymetrii korony

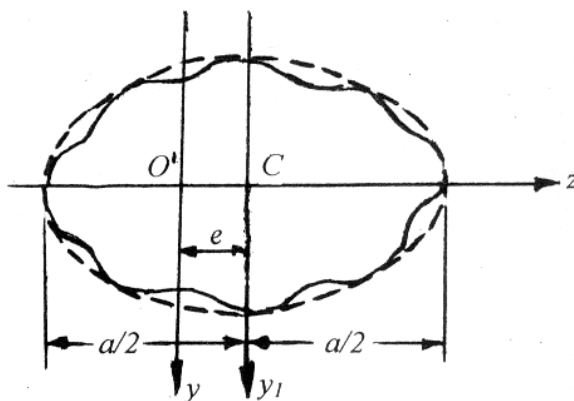
Fig. 1. Determining crown asymmetry

Operując tymi wielkościami poszczególne przypadki symetryczności scharakteryzować można następująco:

- 1° $e = \sum e_i \cong 0$ – korona symetryczna (o osi symetrii pokrywającej się z osią podłużną strzały x),
- 2° $e \neq 0$, $\varphi \cong const$ – korona asymetryczna o stałym kierunku asymetrii,
- 3° $e \neq 0$, $\varphi \neq const$ – korona całkowicie asymetryczna.

Ponadto wielkość $\sum e_i$ jest obiektywną miarą stopnia asymetrii korony, a w oparciu o wielkości x_i , e_i , φ_i , F_i można utworzyć trójwymiarowy model korony (przy założeniu eliptycznego kształtu poszczególnych przekrojów). Do potrzeb analizy śniegołomów niezbędne było jedynie wyznaczenie mimośrodów poziomego rzutu całej korony. Dokonano tego w sposób prostszy, opierając się na założeniu, że w pierwszym przybliżeniu poziomy rzut korony asymetrycznej obrysować można za pomocą elipsy (rys. 2):

- wyznaczano kierunek dłuższej osi rzutu,
- mierzono długość tej osi,
- przyjmowano, że środek ciężkości C rzutu korony leży w połowie dłuższej osi rzutu,
- obliczano mimośród $e = O'C$.



Rys. 2. Sposób wyznaczenia mimośrodów poziomego rzutu korony

Fig. 2. Determining horizontal eccentricity of the crown projection

Opracowanie pomiarów

Sposób opracowania wyników pomiarów wynikał z założenia, że zaobserwowane uszkodzenia drzew polegały na utracie stateczności strzał drzew przy ściskaniu osiowym lub mimośrodowym. Przy tym zależnie od zaobserwowanej postaci zniszczenia, ta utrata stateczności zachodziła w obszarze naprężeń sprężystych lub sprężysto – plastycznych.

Opracowanie wyników pomiarów polegało na pogrupowaniu drzew w stopnie grubości (w stopniowaniu co 1 cm), na obliczeniu dla uszkodzonych drzew ich smukłości dendrometrycznej całych strzał i grubizn strzał, smukłości wybozeniowej, porównaniu tych wielkości, obliczeniu naprężeń krytycznych i siły krytycznej ze względu na wybozenie przy ściskaniu, oszacowaniu wpływu mimośrodu korony i smukłości strzał na utratę stateczności i uszkodzenie drzew. Dokonano tego w oparciu o ogólną analizę wybozenia strzał [Szyber 2003].

Wyniki badań

Wyniki badań opracowano dla stopni grubości o szerokości przedziału 1 cm. Część tych wyników podano w tabeli 1. Okazało się, że:

1. Niewielka zmienność pierśnic w stopniu grubości ($W_d = 2,5 - 5,7\%$) i odpowiadających im wysokości drzew ($W_h = 4,1 - 13,0\%$) prowadziła do dużego rozrzutu wartości smukłości uszkodzonych przez śnieg drzew; zarówno smukłości dendrometrycznej ($W_s = 18,8 - 42,5\%$) jak i wybozeniowej ($W_\lambda = 19,5 - 40,3\%$). Pomiedzy smukłością dendrometryczną S a wybozeniową λ nie stwierdzono zależności liniowej, bowiem smukłość wybozeniowa strzały zależy nie tylko od jej grubości i wysokości, ale i od współczynnika obliczeniowej długości wybozeniowej zmieniającego się w stopniu grubości nawet o 0,6. Okazało się przy tym, że, podczas gdy S ze wzrostem pierśnicy intensywnie malała (od 111,8 do 46,2), smukłość λ zmieniała się nieznacznie (od 523,1 do 425,4). Bezwzględne wartości smukłości wybozeniowej λ były duże ($\lambda = 214,9 - 945,6$). Oznacza to, że utrata stateczności drzew we wszystkich przypadkach zachodziła w obszarze wybozenia sprężystego.
2. Duża zmienność smukłości λ strzały sosny była głównym powodem jeszcze większej zmienności naprężeń krytycznych ze względu na wybozenie σ_{kr} ($W_\sigma = 47,8 - 70,4\%$). Naprężenia krytyczne liczone dla przekroju utwierdzenia (u podstawy odziomka) były niewielkie (średnio wynosiły ~ 3 MPa) nieznacznie wzrastając ze wzrostem pierśnicy; przy tym do utraty stateczności dochodziło nawet przy naprężeniach poniżej 1 MPa. Wynikało to z dużej smukłości λ (naprężenia σ_{kr} są odwrotnie proporcjonalne do λ^2) i z małych wartości modułu sprężystości drewna wilgotnego na ściskanie wzdłuż włókien.

Tabela 1. Wyniki badań ($\langle x \rangle$ – przedział wartości, \bar{x} – wartość średnia, W_x [%] – współczynnik zmienności wartości x)

Table 1. Test results ($\langle x \rangle$ – value range, \bar{x} – mean value, W_x [%] – value changeability coefficient x)

Stopień grubości $d_{1,3}$ [cm]	4,1–5,0	5,1–6,0	6,1–7,0	7,1–8,0	8,1–9,0	9,1–10,0	10,1–11,4
Wysokość drzew h [m]							
$\langle h \rangle$	6,1-8,3	4,7-9,65	5,9-9,7	6,25-11,0	7,7-10,3	8,75-10,3	9,7-10,5
\bar{h}	7,03	7,51	8,15	8,44	8,92	9,63	10,17
W_h [%]	11,0	12,7	12,8	13,0	10,1	7,1	4,1
Smukłość dendrometryczna S							
$\langle S \rangle$	60,5-172,1	45,8-171,4	40,0-133,3	35,3-116,4	38,8-82,7	42,8-80,8	33,5-68,8
\bar{S}	111,8	90,5	78,8	67,3	56,6	60,5	46,2
W_s [%]	36,9	35,3	32,9	34,8	30,2	18,8	42,5
Smukłość wybozeniowa λ							
$\langle \lambda \rangle$	340,8-895,0	290,3-965,9	278,7-945,6	214,9-684,0	373,9-684,0	551,7-712,0	311,8-622,8
$\bar{\lambda}$	523,1	540,5	538,2	505,3	500,3	619,7	425,4
W_λ [%]	39,9	33,6	33,8	34,9	27,4	19,5	40,3
Napężenie krytyczne σ_{kr} [MPa]							
$\langle \sigma \rangle$	0,809-5,577	0,694-7,686	0,724-8,340	0,847-9,739	1,384-9,301	1,278-5,129	1,670-6,663
$\bar{\sigma}$	2,755	2,798	3,058	3,319	3,827	3,721	4,629
W_σ [%]	65,7	66,4	64,4	70,4	65,9	47,8	56,6
Siła krytyczna P_{kr} [kN]							
$\langle P_{kr} \rangle$	3,07-20,70	3,23-34,85	3,74-48,42	6,13-70,46	10,87-38,19	16,25-42,48	20,48-92,52
\bar{P}_{kr}	9,90	15,15	17,09	24,39	24,20	27,98	65,75
W_p [%]	24,6	27,4	31,9	38,2	26,5	25,3	28,6
Procent zniszczeń przez złamanie	65,5	68,3	80,4	88,9	100,0	100,0	100,0
Wysokość miejsca złamania h_z [m]							
$\langle h_z \rangle$	1,4-2,65	1,20-4,25	0,8-4,55	0,9-4,55	2,0-4,4	1,65-2,9	2,8-5,0
\bar{h}_z	1,91	2,31	2,64	2,77	3,08	2,38	4,17
W_{h_z} [%]	24,6	27,4	31,9	38,2	26,5	25,3	28,6
Mimośród korony e [m]							
$\langle e \rangle$	0,2-0,8	0,2-1,0	0,3-1,4	0,2-1,2	0,2-1,2	0,3-1,8	0,7-1,0
\bar{e}	0,54	0,58	0,67	0,66	0,64	0,58	0,80
W_e [%]	29,8	35,8	39,4	41,3	46,1	33,2	21,7

3. Zmienność sił krytycznych P_{kr} , liczonych dla przekroju utwierdzenia strzały w poszczególnych stopniach grubości była porównywalna do zmienności odpowiadających im naprężeń krytycznych ($W_p = 35,9 - 71,2\%$). P_{kr} intensywnie wzrastały ze wzrostem grubości strzał; praktycznie proporcjonalnie do kwadratu średnicy przekroju utwierdzenia.
4. Zaobserwowano dwa rodzaje zniszczenia drzew – złamanie pnia (u 65,5–100% drzew w poszczególnych stopniach grubości i łącznie u 77,4% drzew badanej populacji) i trwałe (plastyczne) wygięcie, najczęściej aż do zetknięcia się korony z podłożem. Świadczyłoby to, że w tych przypadkach siła obciążająca strzałę przewyższała siłę krytyczną, co najmniej dwukrotnie [Szyber 2003]. Na rodzaj zniszczenia wyraźny wpływ miała smukłość strzał. Trwałe wygięcia zachodziły przy znacznie wyższych smukłościach niż złamania strzał (tabela 2).

Tabela 2. Średnie wartości smukłości strzał w poszczególnych rodzajach zniszczeń spowodowanych okiścią

Table 2. Mean values of bolt slenderness in individual types of damage resulting from snow formations

Stopień grubości $d_{1,3}$ [cm] w korze	Średnia smukłość λ strzał zniszczonych przez	
	złamanie	trwałe wygięcie
4,1 – 5,0	406,4	792,3
5,1 – 7,0	439,0	719,4
6,1 – 7,0	468,0	825,4
7,1 – 8,0	446,3	808,5

Strzały łamane były na wysokości 0,8–5,0 m (średnio na 2,71 m) przy tym w poszczególnych stopniach grubości położenie miejsca złamania ze wzrostem pierśnicy wzrastało od 1,91 do 4,17 m. We wszystkich przypadkach strzały uszkodzone były przez wyboczenie.

Zagadnienie miejsca złamania autor przeanalizował kontynuując analizę przedstawioną wcześniej [Szyber 2003]. W tym celu wprowadził on pojęcie smukłości odcinka strzały. Jak wiadomo w przypadku prętów pryzmatycznych utwierdzonych w jednym końcu i ściskanych osiowo od czoła swobodnego końca pręta przekrojem niebezpiecznym jest przekrój utwierdzenia. W przypadku prętów stożkowych również ten przekrój przyjmuje się za niebezpieczny. Pamiętać jednak należy, że modelowanie strzały stożkiem ściętym jest jedynie przybliżeniem, najmniej dokładnym dla odziomkowej i wierzchołkowej części strzały. Autor obliczał więc dla strzał sosny, w oparciu o tablice Radwańskiego [1956] smukłość, naprężenia

krytyczne i siłę krytyczną coraz to krótszych (o kolejny metr) odcinków strzały myślowo utwierdzając strzałę coraz to wyżej od podstawy. Autor zdawał sobie przy tym sprawę z popełnionych błędów wynikających ze zmiany warunków podporowych i brzegowych do różniczkowego równania linii ugięcia. Wyniki tej analizy dla trzech sosen – So 15 (o $d_{1,3} = 15$ cm, $h = 18$ cm, wysokość grubizny $l = 15$ m), So 20 ($d_{1,3} = 20$ cm, $h = 22$ m, $l = 19$ m) i So 25 ($d_{1,3} = 25$ cm, $h = 24$ m, $l = 21$ m) podano w tabeli 3.

Tabela 3. Smukłość λ , naprężenia krytyczne σ_{kr} [MPa] i siła krytyczna P_{kr} [kN] odcinków strzały sosny, skracanej od dołu o 1–10 m

Table 3. Slenderness λ , critical stress σ_{kr} [MPa] and critical force P_{kr} [kN] of pine bolt sections, trimmed from the bottom by 1–10 m

$l_i = l - i$	So 15			So 20			So 25		
	λ_i	σ_{kr}	P_{kr}	λ_i	σ_{kr}	P_{kr}	λ_i	σ_{kr}	P_{kr}
l	1037,1	0,602	156,6	1003,1	0,644	272,0	939,7	0,734	497,7
$l-1$	1263,2	0,406	62,5	1293,6	0,387	108,5	1138,8	0,499	207,4
$l-2$	1230,4	0,428	56,8	1221,7	0,434	110,4	1129,3	0,508	193,0
$l-3$	1135,8	0,502	66,6	1211,5	0,441	100,1	1118,7	0,518	179,2
$l-4$	1100,0	0,535	60,5	1135,8	0,502	113,9	1107,0	0,529	166,0
$l-5$	1025,0	0,617	69,7	1117,8	0,519	104,2	1041,9	0,597	187,4
$l-6$	900,9	0,800	90,4	1037,7	0,602	120,9	1025,1	0,616	174,7
$l-7$	846,5	0,904	85,9	1013,8	0,631	111,3	956,7	0,708	200,6
$l-8$	740,7	1,181	112,2	929,3	0,750	132,5	934,3	0,742	188,8
$l-9$	661,9	1,479	112,1	902,3	0,796	122,4	862,4	0,871	221,5
$l-10$	551,6	2,129	167,1	812,1	0,982	151,1	832,9	0,934	211,9

Jak widać przekrojem niebezpiecznym ze względu na wyboczenie nie jest podstawa odziomka. Przekrój niebezpieczny jest umiejscowiony na wysokości 1–7 m od podstawy, co potwierdziły obserwacje.

Tylko 2,6% uszkodzonych drzew miało korony symetryczne. W pozostałych 97,4% drzew mimośród poziomego rzutu korony wahał się w granicach 0,2–1,4 m, w stopniach grubości wynosił średnio 0,54–0,8 m, a dla całej badanej populacji – średnio 0,61 m. To w istnieniu asymetrii koron autor upatruje czynnik stymulujący wyboczenie strzał okiści.

36,1% zniszczonych drzew było zlokalizowane wewnątrz drzewostanu w zwarcu, w otoczeniu innych sosen. Pozostałe 63,9% drzew było albo wewnątrz drzewostanu przy brzozie (brzozach), spełniając rolę rozpieraczy (11,0%), albo przy drodze, linii oddziałowej, linii p. pożarowej, szlaku zrywkowym lub na skraju polanek (52,9%). Przy tym przez „polankę” autor rozumie wolną przestrzeń umożliwiającą asymetryczny wzrost korony – od niewielkich luk powstałych po wypadnięciu jednego lub dwóch drzew sąsiednich w poprzednich sezonach do polanek o średnicy 10 – 15(20) m. Znamienne było, że najczęściej wygięcie lub złamanie drzewa ukierunkowanie było do środka polanki.

Wnioski

1. Badania potwierdziły nieprzydatność smukłości dendrometrycznej do określenia wytrzymałości strzał na wyboczenie. O jej przydatności do określenia wytrzymałości strzał na zginanie będzie mowa w oddzielnym doniesieniu.
2. Uszkodzenie strzał sosny przy okiści następuje przez wyboczenie, z uwagi na zbyt dużą smukłość wyboczeniową strzał i częstą asymetrię koron.
3. Z powyższego względu należałoby dokonywać czyszczenia we właściwym czasie, a rozpieracze nie usuwać, lecz silnie podkrzesywać by nie dopuszczać do powstawania dodatkowych luk w zwarcu, generujących asymetrię koron.
4. Zaproponowaną przez autora metodą można uzyskać ilościowe miary asymetrii koron.

Bibliografia

- Radwański B. 1956. Tablice miąższości i zbieżystości dłużyc, kłód i wyrzynków strzały dla sosny. Roczn. Nauk Leśn. 10.
- Sztyber J. 2005. Wpływ niektórych czynników na wyboczenie sosny. Inżynieria Rolnicza 2(62), Kraków.

SOME ASPECTS OF SNOW BREAKERS IN YOUNGER PINE STANDS

Summary

The paper presents some mechanical aspects related to snowbreaks of 24-30 year old pine. Parameters of damaged trees have been measured, and the tree position and type of damage resulting from snow formations has been described. Method for determining crown symmetry has been proposed. By using the definition of section slenderness, the location of bolt fractures have been established. The critical stress in hazardous sections was only between 0.39 and 0.53 MPa, whereas at the butt end footing it was on average approx. 3 MPa. Two types of tree damage have been observed – trunk fractures and permanent (plastic) flexure – in most cases as far as the crown contacted the earth. Permanent flexures occurred at considerably higher slenderness than in the case of bolt fractures.

Key words: pine bolt buckling, snowbreaks, pine bolt slenderness