

TADEUSZ ZACHARA

## Problem szkód w lasach powodowanych przez śnieg i wiatr oraz sposoby przeciwdziałania im

Damage to forests caused by snow and wind and the ways of counteracting it

### ABSTRACT

Zachara T. 2006. Problem szkód w lasach powodowanych przez śnieg i wiatr oraz sposoby przeciwdziałania im. Sylwan 10: 56-64.

The paper is a review of contemporary national and world literature related to the issue of damage to forests caused by wind and snow with special consideration of the most threatened species i.e. pine and spruce. The counteracting of the damage by means of rational forest management and silvicultural methods were discussed. The paper focuses on both, the shaping of individual susceptibility of trees and collective stability based on the spatial-time order.

### KEY WORDS

abiotic damage, Scots pine, Norway spruce, silviculture

### ADDRESSES

Tadeusz Zachara – Zakład Hodowli Lasu; Instytut Badawczy Leśnictwa;  
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 roku nr 3; 00-973 Warszawa; e-mail: T.Zachara@ibles.waw.pl

## Wstęp

Polska leży w strefie okresowo pojawiających się szkód w lasach, wyrządzanych przez czynniki atmosferyczne, przede wszystkim wiatr i śnieg. Szkody te niejednokrotnie osiągają nasilenie powodujące zakłócenia w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych, a w konsekwencji utrudniające osiągnięcie celów wielofunkcyjnej i trwałej gospodarki leśnej. W ostatnich dziesięcioleciach aktywność szkodliwych czynników atmosferycznych wydaje się wzrastać, zarówno w Polsce jak i w innych krajach europejskich [Zajączkowski 1991; Peltola i in. 1997; Nykänen i in. 1997].

Całkowite wyeliminowanie szkód atmosferycznych nie jest możliwe, zwłaszcza w wypadku zjawisk o charakterze klęskowym [Wood 1995; Talkkari i in. 2000; Mikułowski 2002], wobec czego z gospodarczego punktu widzenia do rozważenia pozostają 3 strategie wobec nich [Gardiner, Quine 2000]:

- 1) akceptacja ewentualnych strat,
- 2) uryczłotwienie strat (przez ubezpieczenia),
- 3) nakłady na zmniejszenie ich prawdopodobieństwa.

Pierwsze dwie możliwości dotyczą zwłaszcza gospodarki leśnej w warunkach szczególnie wietrznego klimatu [Quine 1995], np. w Wielkiej Brytanii, gdzie powstanie szkód od wiatru jest wkalulowane w plany gospodarcze. Wpisują się też w popularną ostatnio strategię wykorzystania naturalnych zaburzeń w gospodarce leśnej [Beatty, Owen 2005]. Niniejszy przegląd dotyczy trzeciej z wymienionych strategii, opartej na założeniu, że racjonalne działanie leśników może

w dużym stopniu zmniejszyć nasilenie i częstotliwość szkód spowodowanych czynnikami atmosferycznymi [Zajączkowski 1991].

### Szkody powodowane przez śnieg

Chociaż szkody powodowane przez śnieg stanowią jedynie 15% całości rozmiaru szkód atmosferycznych liczonych miąższością uszkodzonych drzew, jednak ich znaczenie jest w rzeczywistości dużo większe, jeśli uwzględnimy fakt, że wyrządzane są one głównie w młodych drzewostanach [Zajączkowski 1991].

Wśród szkód powodowanych przez śnieg można wyróżnić trzy główne typy: złamanie, pochylenie i wywalenie, jednak zdecydowanie najbardziej rozpowszechniony jest pierwszy z nich [Pařez 1972; Petty, Worell 1981; Slodiřak 1995; Nykänen i in. 1997]. Zmniejszanie prawdopodobieństwa wystąpienia tych szkód może odbywać się przez unikanie ryzykownych operacji oraz ograniczanie udziału drzew i drzewostanów wysokiego ryzyka [Valinger i in. 1993], szczególnie chodzi o właściwy dobór gatunków, form zmieszania, wieźby początkowej, jak też o odpowiednie nasilenie i częstotść czyszczeń i trzebieży wczesnych.

Podatność na uszkodzenia od śniegu jest zależna od gatunku drzewa, jednak brak jest powszechnie uznanego „rankingu” drzew pod względem tej cechy. Istnieje zgoda jedynie co do faktu, że gatunki liściaste są rzadziej uszkodzane w porównaniu z iglastymi, natomiast rozbieżne są opinie co do stopnia odporności sosny i świerka [Peltola i in. 1997; Jalkanen, Mattila 2000]. Może to wynikać z odmiennych warunków klimatycznych i siedliskowych, w jakich prowadzone były badania. Większość autorów wskazuje jednak na sosnę, jako na gatunek najbardziej narażony [Zajączkowski 1991; Nykänen i in. 1997; Jalkanen, Konopka 1998]. Tłumaczy się to przede wszystkim wysoko (w porównaniu z innymi gatunkami) położonym środkiem ciężkości korony sosny. Złamania mają więc zwykle miejsce poniżej korony, w odróżnieniu od świerka, u którego większość złamań ma miejsce w obrębie korony i w związku z tym nie zawsze prowadzić musi do śmierci drzewa [Nykänen i in. 1997]. Wspomniana tutaj relatywna odporność gatunków liściastych nie dotyczy przypadków, gdy opad śniegu zdarzy się w okresie ich ulistnienia, w takim wypadku silne szkody obserwuje się u brzozy, jesionu, olszy i topoli [Rottmann, za Zajączkowskim 1991].

Według Zajączkowskiego [1991] graniczne wartości doraźnego obciążenia śniegiem wynoszą 40-50 kg/m<sup>2</sup> dla świerka i 30-40 kg/m<sup>2</sup> dla sosny, co odpowiada grubości pokrywy 25-40 cm dla świerka i 15-25 cm dla sosny. W wypadku długotrwałego przelegiwania śniegu w koronach, wartości graniczne są jeszcze mniejsze [Peltola i in. 1997; Päätało 2000]. O wielkości szkód decyduje zazwyczaj splot warunków siedliskowych, wielu autorów zwraca uwagę na współdziałanie śniegu, wiatru, wilgotności powietrza i temperatury. Według Nykänena i in. [1997] największe szkody wyrządza śnieg padający przy temperaturze od -5°C do +0,6°C, gdyż przy niższych wartościach temperatury ma słabą przyczepność, a przy wyższych jest zbyt ciężki, aby się trwale utrzymać na gałęziach. Mokry śnieg charakteryzuje się ponad dwa razy większą gęstością w porównaniu z suchym [Brüchert, Becker 2000]. Peltola i in. [1997] stwierdzają, że prędkość wiatru powyżej 9 m/s zapobiega osadzeniu się większych ładunków śniegu nawet przy wielkości opadu 60 kg/m<sup>2</sup>. Stąd największe szkody występują na terenach położonych blisko morza i ekspozycji zawietrznej [Nykänen i in. 1997]. Jeśli chodzi o wzniesienie nad poziom morza, według Pařeza [1972], największe nasilenie szkód w drzewostanach świerkowych ma miejsce pomiędzy 500 a 900 m n.p.m. Na niższych wysokościach obfite opady zdarzają się rzadziej, a na wyższych drzewa wykazują przystosowanie do trudnych warunków.

Wśród większości autorów przeważa pogląd o korzystnym wpływie rzadkiej więzby na odporność drzew wobec szkód od śniegu [Abetz 1976; Johann 1981; Slodičak 1995], wskutek lepszej rozbudowy koron i niższej smukłości. Z tego samego powodu młodniki powstałe z samosiewu częściej cierpią od śniegu w porównaniu z tymi powstałymi z sadzenia, wymagają więc intensywnego przerzedzania od pierwszych lat wzrostu, dotyczy to zarówno świerka [Abetz 1966], jak i sosny [Williston 1974]. W wypadku powierzchniowych szkód od śniegu w młodnikach, ofiarą padają bowiem nie tylko drzewa cienkie, lecz także pojedynczo rosnące między nimi drzewa grubsze, nie wytrzymujące naporu sąsiedztwa [Zajączkowski 1984]. W świetle prowadzonych w IBL obserwacji na powierzchniach uszkodzonych przez śnieg [Zajączkowski i in. 2004] brak jest jednoznacznego związku więzby początkowej z wielkością szkód. Często złamaniami ulegały bowiem sosny o dobrze rozwiniętych koronach i niskiej smukłości, dysponujące wystarczającą powierzchnią wzrostową, lecz nie mające oparcia w bezpośrednim sąsiedztwie [Valinger, Fridman 1997].

Należy zauważyć, że rozluźnienie więzby początkowej, przynoszące pozytywne efekty w wypadku świerka [Slodičak 1995], nie przynosi analogicznej poprawy stabilności w wypadku sosny, ze względu na odmienny typ wzrostu korony tych gatunków. U świerka rozluźnienie zwarcia skutkuje wzrostem stosunku korony do wysokości drzewa i w konsekwencji obniżeniem środka ciężkości pnia [Nykänen i in. 1997], u sosny natomiast korona ma tendencję do rozrostu na boki, co zwiększa ryzyko uszkodzeń.

Zagrożenie szkodami od śniegu pozostaje wysokie w II klasie wieku. Wpływ zagęszczenia początkowego i cięć pielęgnacyjnych na powstawanie szkód w młodnikach i tyczkowinach świerkowych ilustrują badania Slodičaka z terenu Gór Orlickich [1983, 1987, 1995]. Opisany przez tego autora eksperyment z różnymi wariantami pielęgnowania świerka doprowadził w wieku 26 lat do całkowitego zniszczenia przez śniegołom powierzchni kontrolnej o wyjściowej liczbie drzew 30 tys. sztuk na hektarze, podlegającej tylko naturalnej selekcji. Młodnik o liczbie drzew zredukowanej do 4300 szt./ha w wieku 12 lat i do 2400 szt./ha w wieku 22 lat uległ w fazie tyczkowiny częściowemu zniszczeniu, natomiast redukcja do 1750 szt./ha w wieku 12 lat pozwoliła zapobiec jakimkolwiek szkodom.

Badania prowadzone w młodnikach i tyczkowinach sosnowych na terenie Austrii wskazują na kluczowe znaczenie utrzymania wielkości wskaźnika smukłości  $h/d$  poniżej wartości 100. Gdy przeciętna smukłość drzewostanu przekroczy tę wartość, poziom szkód gwałtownie wzrasta [Zajączkowski 1991]. Ważny jest nie tylko fakt prowadzenia cięć, ale i sposób ich prowadzenia, gdyż zbyt silne cięcie może wywołać takie same szkody jak jego zaniechanie [Nykänen i in. 1997].

Początki badań prowadzonych w Zakładzie Hodowli Lasu IBL na stałych trzebieżowych powierzchniach doświadczalnych założonych w drzewostanach sosnowych na początku II klasy wieku zbiegły się ze śniegołomami związanymi z bardzo ostrą zimą 1969/1970. Inwentaryzacja szkód na wspomnianych powierzchniach [Grynkiewicz 1972] wykazała powstanie dużych luk w wariantach cięć schematycznych, a także w wariantach trzebieży selekcyjnej umiarkowanej (o nasileniu 20%). Znacznie mniejsze szkody występowały na działkach z trzebieżą słabą (10%), gdzie nie nastąpiło trwałe przerwanie zwarcia i silną (30%), gdzie z kolei usunięto drzewa najbardziej podatne na szkody [Valinger i in. 1993].

Pařez [1972] na powierzchniach doświadczalnych w drzewostanach świerkowych stwierdził największe szkody od śniegu w wariantach z trzebieżą górną, znacznie mniejsze przy trzebieży dolnej, która nie przerywała trwale zwarcia.

## Szkody powodowane przez wiatr

O ile zagrożenie szkodami od śniegu na ogół maleje wraz ze wzrostem drzewostanu, zagrożenie ze strony wiatru wzrasta, a zapobieganie mu jest problemem znacznie bardziej złożonym w porównaniu z zagrożeniem szkodami od śniegu [Zajączkowski 1991; Slodičák 1995; Gardiner 2000]. Najczęściej spotykane formy uszkodzenia to wywały, złomy i skręcenie [Skatter, Kucera 2000].

Podobnie jak w wypadku szkód od śniegu, istotny wpływ na zagrożenie ze strony wiatru ma gatunek drzewa [Konôpka i in. 1987; Zajączkowski 1991; Peltola i in. 2000], za najbardziej wrażliwe uważane są gatunki iglaste, przede wszystkim świerk [Hütte 1968; Nielsen 1995; Slodičák 1995; Peltola i in. 2000]. Jako zasadniczą przyczynę zwiększonej podatności na szkody uważa się płytkie ukorzenie, stąd na glebach mokrych z jednej strony, a na płytkich i bardzo zwężonych z drugiej, zastępowanie świerka innymi gatunkami nie daje zadowalających rezultatów [Zajączkowski 1991]. Domieszka gatunków liściastych, zwłaszcza w formie pasowej zamiast pożądanego wzrostu stabilności, może skutkować wzrostem zagrożenia [Savill 1983], szczególnie w okresie jesienno-zimowym, gdy bezlistne drzewa łatwo przepuszczają porywy wiatru do wnętrza lasu. Przykłady korzystnej roli domieszek dotyczą najczęściej drzewostanów z udziałem buka [v. Lüpke, Kuhr 2001], który działa pozytywnie, stymulując lepsze ukorzenie świerka.

Efektywne przeciwdziałanie zagrożeniu od wiatru za pomocą zabiegów hodowlanych wymaga spełnienia sprzecznych ze sobą postulatów, czyli z jednej strony wyhodowania silnie zbieżystych drzew, a z drugiej – utrzymania gładkiego i zwarteo okapu drzewostanu. Z tego powodu poszczególni autorzy zajmujący się tym zagadnieniem kładą nacisk na różne aspekty odporności.

Pierwsze podejście koncentruje się na kształtowaniu indywidualnej odporności, traktując smukłość drzew jako cechę decydującą o stabilności względem obu głównych czynników abiotycznych [Fries 1969; Abetz 1976; Johann 1981; Huss 1983, 1993; Stępień 1986; Konôpka i in. 1987], warunkiem koniecznym jest jednak w tym wypadku stosowanie luźnej więźby sadzenia i (lub) wczesne rozpoczęcie cięć pielęgnacyjnych. Nadrabianie zaległości w późniejszym wieku zwykle skutkuje wzrostem zagrożenia [Brüning i in. 1977; Andersson 1980], ze względu na dłuższy czas dochodzenia do ponownego zwarcia. Pamiętać należy bowiem, iż na krótszą metę każda trzebież przynosi wzrost zagrożenia od wiatru [Quine 1995; Jalkanen, Mattila 2000].

Wczesne i intensywne cięcia pielęgnacyjne służą zarówno lepszemu ukorzeniu drzew jak i obniżeniu smukłości pnia [Johann 1981], co zmniejsza prawdopodobieństwo powstania wywrotów, a także złamań. Według badań Zakładu Hodowli Lasu IBL, stosowanie regularnej trzebieży selekcyjnej o nasileniu 20 lub 30% skraca niebezpieczny okres (w którym smukłość drzewostanu sosnowego przekracza krytyczną wartość 100) o około 10-15 lat w porównaniu z drzewostanem niepielęgowanym [Zachara 1998]. Badania fińskie wskazują, że obniżenie smukłości drzew wpływa nie tylko na zmniejszenie szkód, ale także na ich strukturę. Wśród uszkodzeń drzew o smukłości poniżej 100 przeważają wywroty, podczas gdy u drzew smukłych – złamania [Peltola i in. 1999].

Wytrzymałość indywidualna drzewa zależy jednak nie tylko od wymiarów, ale i od właściwości mechanicznych drewna. Badania wytrzymałościowe [Brüchert i in. 2000] prowadzone na świerku pochodzącym z więźbowo-trzebieżowych powierzchni doświadczalnych wykazały największą wytrzymałość na zginanie u drzew posadzonych w dość gęstej więźbie (1,2 × 1,2) i poddanych silnym cięciom, na drugim miejscu jednak były drzewa z drzewostanu niepielęg-

nowanego, które okazały się bardziej wytrzymałe od drzew pochodzących z sadzenia w luźniejszych więźbach.

Jeśli chodzi o wytrzymałość na skręcenia [Skatter, Kucera 2000], prawdopodobieństwo powstania takich szkód zmniejsza się w wypadku drzew o dużych, równomiernie rozwiniętych koronach, podobna zależność zdaniem cytowanych autorów dotyczy złamań. Istnieją jednak liczne przykłady wskazujące na brak takiej zależności [Valinger i in. 1993] lub wręcz odwrotną zależność, tzn. większy udział drzew o niskiej smukłości wśród osobników uszkodzonych [Valinger, Fridman 1997]. Notowano też przypadki mniejszych uszkodzeń w drzewostanie niepielęgowanym, o wysokiej przeciętnej smukłości, w porównaniu z drzewostanem pielęgowanym [Fleder 1990]. Czynnikiem, który niewątpliwie należy brać pod uwagę w kontekście smukłości drzew i nasilenia cięć pielęgnacyjnych, jest rodzaj gleby pod drzewostanem. Według Slodičaka [1983] na glebach mokrych świerk o długiej koronie, wyrosły w luźnym zwarciu, jest bardziej zagrożony wywaleniem niż gdyby był utrzymany w większym zagęszczeniu.

Nie oznacza to, że smukłość drzew nie ma żadnego znaczenia, a jedynie to, że w wypadku szkód od wiatru odporność indywidualna nie tłumaczy wszystkiego. Na tym opiera się drugie podejście do problemu odporności względem wiatru, polegające na przywiązywaniu większej wagi do innych czynników, zwłaszcza związanych ze strukturą drzewostanu [Zajączkowski 1990, 1994], jego zwarciem [Slodičak 1995] i topografią terenu [Hütte 1968; Peltola i in. 1993; Talkkari i in. 2000]. Szczególnie dużą rolę odgrywa odległość od linii brzegowej lasu, według badań fińskich [Peltola 1996], wzrost prędkości wiatru odczuwalny jest aż do odległości równej sześciokrotnej wysokości drzewostanu, a moment zginający działający na drzewo rosnące w odległości trzykrotnej wysokości nie różni się wielkością od tego, który działa na drzewa w bezpośredniej bliskości ściany lasu [Peltola 1996]. Może to mieć związek z zagadnieniem opisanym poniżej, jakim jest struktura ściany lasu.

Szereg drzew o pierśnicach większych od przeciętnej pełni z natury rolę stabilizującą. Kontrowersje wzbudza natomiast fakt istnienia płaszcza ochronnego złożonego z nisko rosnących żywych gałęzi [Savill 1983]. Według Mitscherlicha [1973] szczelny płaszcz ochronny wymaga spiętrzanie powietrza na skraju lasu i zwiększa nacisk ruchów turbulencyjnych na drzewa rosnące bezpośrednio za skrajem. W świetle tego wytłumaczalny jest fakt często obserwowanych szkód w strefie przyległej do ściany lasu. Płynie stąd postulat, aby skraj lasu był możliwie przepuszczalny dla wiatru i pozwalał na jego stopniowe wyhamowywanie [Zajączkowski 1991].

W warunkach górskich w sposób istotny wzrasta wpływ topografii terenu na wielkość szkód. Według Hütte [1968] do obszarów najbardziej narażonych na szkody należą grzbiety górskie, także zaokrąglone szczyty, boczne granie oraz doliny górskie, zwłaszcza wąskie.

Rozważania te prowadzą do konkluzji, że wśród działań profilaktycznych bardzo istotnym zagadnieniem jest zachowanie ładu przestrzenno-czasowego, który pozwala na względne zabezpieczenie drzewostanów przed uderzeniami wiatru z przeważającego kierunku [Zajączkowski 1991].

Slodičak [1995] poddał analizie wady i zalety obu wymienionych koncepcji – pierwszej, opartej na odporności indywidualnej i drugiej, bazującej na ładzie przestrzenno-czasowym. Słabością pierwszej jest istotne zagrożenie związane z niestabilnością drzewostanu w okresie kilku lat po trzebieży. W wypadku obszarów o silnych wiatrach Quine [1995] zaleca tak ustawiać nawrót trzebieży, aby okres dochodzenia do zwarcia był krótszy niż statystyczny dla danego terenu „nawrót szkód”.

Jeśli chodzi o drugą koncepcję, jej zauważalną wadą jest brak wystarczających mechanizmów ochronnych wobec wiatru przychodzącego z nietypowego kierunku. Koresponduje to z

opinią Wooda [1995], że drzewa wytwarzają skuteczne mechanizmy ochrony przed takim tylko wiatrem, jaki „znają” ze swojej historii.

Na tle dwóch wspomnianych strategii Slodičak [1995] formułuje trzecią koncepcję, mieszaną, polegającą na rzadkiej więźbie i silnych cięciach, ale tylko w okresie młodnika. W drzewostanie dojrzewającym dopuszczalne są tylko słabe cięcia dolne, a w ostatnich dziesięcioleciach przed wyrębem zalecana jest „cisza pielęgnacyjna” [Nielsen 1995]. Ten model postępowania jest zalecany zwłaszcza dla drzewostanów świerkowych.

Opinie na temat sposobu prowadzenia cięć pielęgnacyjnych pod względem zagrożenia od wiatru są rozbieżne. Kohlstock i Lockow [1981] twierdzą, że poziom szkód zależy jedynie od nasilenia cięć, ich charakter natomiast nie jest istotny. Inni autorzy skłonni są jednak dostrzegać także wpływ rodzaju cięcia na rozmiar szkód. Według Zajączkowskiego [1994] klasyczna trzebież selekcyjna, oparta na równomiernym rozmieszczeniu drzew dorodnych [Schädelin 1942; Leibundgut 1972], zmniejsza odporność drzewostanu, likwidując „punkty oporu”, jakimi są naturalnie ukształtowane grupy silnych drzew. Trzebież grupowa [Zajączkowski 1990; Otto 1994; Bastien, Otto 1998], w której wymaganie równomierności rozmieszczenia drzew dorodnych nie jest bezwzględnie przestrzegane, zmniejsza prawdopodobieństwo zniszczenia drzewostanu przez wiatr.

Kolejnym czynnikiem związanym z gospodarką leśną jest sposób prowadzenia cięć rębnych. Według Fledera [1990] w drzewostanach różnowiekowych o długim okresie odnowienia, szkody od wiatru nie mają istotnego znaczenia. Zdaniem Mayera [1992] najbezpieczniejszy pod względem potencjalnych szkód od wiatru jest drzewostan przerębowy. Mason [2002] potwierdza zasadniczo te tezy, z zastrzeżeniem, że nie chodzi (przynajmniej w wypadku bardzo wietrznego klimatu brytyjskiego) o uniknięcie szkód, ale o szybszą regenerację gospodarstwa po takiej katastrofie, w porównaniu z jednowiekowymi drzewostanami. Według Zajączkowskiego [1991] drzewostany pochodzące z odnowienia naturalnego cechują się większą stabilnością, nie dotyczy to jednak rębni częściowej wielkopowierzchniowej, przy której następuje podwyższone ryzyko zniszczenia macierzystego drzewostanu.

Przy odnowieniu sztucznym na zrębach zupełnych kwestią dyskusyjną jest wielkość powierzchni zrębowej. Ogólnie uważa się, że szerokie zręby, powyżej 30-40 m, nie powinny być stosowane w rejonach o dużym zagrożeniu przez wiatr [Zajączkowski 1991]. Z drugiej strony, stosowanie wąskich zrębów smugowych wymusza większą ich liczbę, co zwiększa penetrację kompleksu leśnego przez wiatr [Peltola 1996].

Wszystkie wspomniane tutaj uwagi należy opatrzyć zastrzeżeniem, że wpływ zarówno pokroju drzew jak i struktury drzewostanu na wielkość szkód maleje wraz ze wzrostem siły wiatru [Quine 1995; Talkkari i in. 2000]. Nie podważa to w żadnym wypadku sensu działań profilaktycznych, a jedynie informuje o istnieniu granicy, powyżej której odpowiedzialność leśnika za skutki huraganu jest ograniczona. Nawet jednak przy ekstremalnych huraganach, profilaktyczne działania mogą zmniejszyć wielkość szkód na jego obrzeżach [Kohnle, Gauckler 2003].

## Literatura

- Abetz P. 1966. Zur Bestandesbegründung und Jungbestandspflege in Fichte. *Der Forst-u.Holz.* 4: 77-80.
- Abetz P. 1976. Beitrage zum Baumwachstum. Der h/d-Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad. *Der Forst-u.Holz.* 19: 389-393.
- Andersson S. O. 1980. Volume increment and stand safety in different types of thinning. *Schr. For. Fak.* 67: 260-268.
- Bastien Y., Otto H. J. 1998. La théorie des groupes: application aux éclaircies de futaie régulière. *Rev. For. Fr.* 3: 251-262.
- Beatty S. W., Owen B. S. 2005. Incorporating disturbance into forest restoration. In: Stanturf J. A., Madsen P. [red.]. *Restoration of boreal and temperate forests.* CRC Press, Boca Raton – London – New York – Washington D. C., Chapter 4: 61-76.

- Brüchert F., Becker G. 2000. Biegemechanische Eigenschaften von Fichten [*Picea abies* (L.) Karst.] bei unterschiedlichen Wuchsbedingungen – Grundlagen zur Abschätzung der Stabilität von Bäumen gegenüber mechanischen Belastungen durch Sturm und Schnee. Forstarchiv 71: 102-111.
- Brüchert F., Becker G., Speck T. 2000. The mechanics of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst]: mechanical properties of standing trees from different thinning regimes. For. Ecol. Manage. 135: 45-62.
- Brüning E. F., Heuvelodp J., Schneider T. W. 1977. Produkcyjno-ekologiczne i hodowlane wnioski z katastrofy huraganowej w dniu 13 listopada 1972 roku. Sylwan 4: 15-31.
- Fleder W. 1990. Zur Z-Baum-Diskussion. AFZ 32: 828-830.
- Fries J. 1969. Der Einfluss extrem starker Durchforstung auf den Ertrag und die Bestandessicherheit von Nadelholzbeständen. AFZ 39:760-761.
- Gardiner B. A., Quine C. P. 2000. Management of forests to reduce the risk of abiotic damage – a review with particular reference to the effects of strong winds. For. Ecol. Manage. 135: 261-277.
- Gryniewicz J. 1972. Wpływ trzebieży selekcyjnej i cięć liniowych na powstawanie szkód śniegowych w drzewostanach sosnowych. Sylwan 3: 17-28.
- Huss J. 1983. Durchforstungen in Kiefernjungbeständen. Forstwiss. Centralbl. 1: 1-17.
- Huss J. 1993. Waldbau von neuen Herausforderungen bei Waldverjüngung und Jungbestandspflege. Forstwiss. Centralbl., 3: 278-286.
- Hütte P. 1968. Experiments on windflow and wind damage in Germany site and susceptibility of spruce forests to storm damage. Forestry 41 (suppl.): 20-27.
- Jalkanen R., Konopka B. 1998. Snow-packing as a potential harmful factor on *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Betula pubescens* at high altitude in northern Finland. Eur. J. For. Path. 28: 373-382.
- Jalkanen A., Mattila U. 2000. Logistic regression for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data. For. Ecol. Manage. 135: 315-330.
- Johann K. 1981. Nicht schnee, sondern falsche Bestandesbehandlung verursacht Katastrophen. Allg. Forstztg. 92 (5): 163-171.
- Kohlstock N., Lockow K. W. 1981. Mathematisch-statistische Untersuchungen über die Sturmgefährdung rationell gepflegter Kiefernjungbestände – ein Beitrag zur Erhöhung die Bestandessicherheit. Beitr. Forst. 1: 1-7.
- Kohnle U., Gauckler S. 2003. Vulnerability of forests to storm damage in a forest district of south-western Germany situated in the periphery of the 1999 storm (Lothar). In: Ruck B., Kottmeier C., Mattheck C., Quine C., Wilhelm G. [red.]. Proceedings of International Conference "Wind Effects on Trees", 16-18 September, Univ. of Karlsruhe, Germany. 151-155.
- Konôpka J., Petráš R., Toma R. 1987. Štrhlостný koeficient hlavných drevín a jeho význam pri statickej stabilite porastov. Lesnictvi 33 (10): 887-904.
- Leibundgut H. 1972. Pielęgowanie drzewostanów. PWRiL, Warszawa.160.
- Lüpke B. von, Kuhr M. 2001. Grobwurzelausbildung der Fichte [*Picea abies* (L.) Karst.] in Abhängigkeit von Alter, Bodenart, sozialer Stellung und Bestandesstruktur. Forstarchiv 72: 55-62.
- Mason W. L. 2002. Are irregular stands more windfirm? Forestry 75, 4: 347-355
- Mayer H. 1992. Waldbau auf soziologisch – ökologischer Grundlage. 4 neu bearbeitete Auflage. Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York.
- Mikułowski M. 2002. Problemy zagospodarowania lasu na terenie kłęski wiatrowej z lipca 2002 r. w północno-wschodniej Polsce. Prace IBL. Seria A. 3 (937-943): 129-133.
- Mitscherlich R. 1973. Wald und Wind. Allg. Forst. – u. Jagdztg. 4: 76-81.
- Nielsen C. C. 1995. Recommendations for stabilization of Norway spruce stands based on ecological surveys. W: Coutts M. P., Grace I. [red.]. Wind and trees. Cambridge University Press. 424-435.
- Nykänen M. L., Peltola H., Quine C. P., Kellomäki S., Broadgate M. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. Silva Fenn. 31, 2: 193-213.
- Otto H-J. 1994. Ökologische Waldbau. Walddynamische Prozesse bei Fichte und Kiefer in Rahmen waldbaulicher Rationalisierung. Der Wald T. 1. R. 44 Nr 11 s. 364-367, T. II. R. 44, 12: 408-412.
- Päätao M. L., 2000. Risk of Snow damage in Unmanaged and Managed Stands of Scots Pine, Norway Spruce and Birch. Scand. J. For. Res. 15: 530-541.
- Pařez J. 1972. Vliv podúrovňove a úrovňove probřrky na výši škod snehem v porostech pokusných probřrkových ploch v období 1959-1968. Lesnictvi 18, 2: 143-154.
- Peltola H. 1996. Model computations on wind flow and turning moment by wind for Scots pines along the margins of clear-cut areas. For. Ecol. a. Manage. 83:203-215.
- Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., Lemettinen M., Aho J. 1993. Swaying of trees as caused by wind: analysis of field measurements. Silva Fennica 27, 2: 113-126.
- Peltola H., Nykänen M. L., Kellomäki S. 1997. Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of Scots pine, Norway spruce and Birch sp. at stand edge. For. Ecol. a. Manage. 95: 229-241.
- Peltola H., Kellomäki S., Väisänen H., Ikonen V. P. 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce and birch. Can. J. For. Res. 29: 647-661.

- Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., Granander M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *For. Ecol. Manage.* 135: 143-153.
- Petty J. A., Worrell R. 1981. Stability of coniferous tree stems in relation to damage by snow. *Forestry* 54 (2): 115-128.
- Quine C. P. 1995. Assessing the risk of wind damage to forests. In: Coutts M. P., Grace I. [red.]. *Wind and trees.* Cambridge University Press. 397-403
- Savill P. S. 1983. Silviculture in windy climates. *For. Abstr.* 44, 8: 473-488.
- Schädelin W. 1942. Die Auslesedurchforstung als Erziehungsbetrieb höchster Wertleistung. 3. Aufl., Bern-Leipzig.
- Skatter S., Kucera B. 2000. Tree breakage from torsional wind loading due to crown asymmetry. *For. Ecol. Manage.* 135: 97-103.
- Slodičák M. 1983. Vliv výchovy smrkových porostů na škody snemem a vetrem. *Les. Prace* 62 (5): 205-209.
- Slodičák M. 1987. Výchova mladých smrkových porostů ohrožených snemem a její vliv na růst a statickou stabilitu stromů různých stromových tříd. *Lesnictví* 33 (12): 1091-1106.
- Slodičák M. 1995. Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage. In: Coutts M. P., Grace I. [red.]. *Wind and trees.* Cambridge University Press. 436-447.
- Stępień E. 1986. Zwiększanie stabilności drzewostanów przy pracach odnowieniowych. *Sylvan* 1: 13-21.
- Talkkari A., Peltola H., Kellomäki S., Strindman H. 2000. Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins. *For. Ecol. Manage.* 135: 303-313.
- Valinger E., Lundquist L., Bondesson L. 1993. Assessing the risk of snow and wind damage from tree physical characteristics. *Forestry* 66, 3: 249-260.
- Valinger E., Fridman J. 1997. Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. *For. Ecol. a. Manage.* 97: 215-222.
- Williston H. L. 1974. Managing pines in the ice-storm belt. *Journal of Forestry* 72 (9): 580-582.
- Wood C. J. 1995. Understanding wind forces on trees. In: Coutts M. P., Grace I. [red.]. *Wind and trees.* Cambridge University Press. 133-164.
- Zachara T. 1998. Wpływ trzebieży selekcyjnej na strukturę socjalną i jakość hodowlaną drzewostanów sosnowych II klasy wieku. Praca doktorska. IBL, Warszawa. 79.
- Zajączkowski J. 1984. Postępowanie hodowlane a odporność drzewostanów sosnowych na szkody powodowane przez śnieg. *Sylvan* 9: 19-27.
- Zajączkowski J. 1990. Stabilisierende Gruppendurchforstung in Kiefernbeständen. *Forstarchiv* 1: 39-40.
- Zajączkowski J. 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wyd. „Świat”, Warszawa. 224.
- Zajączkowski J. 1994. Biogrupy drzew w drzewostanach – możliwości i celowość ich wykorzystania przy prowadzeniu trzebieży. *Prace IBL. Seria A.* 778: 1-38.
- Zajączkowski J., Mikułowski M., Zachara T., Gil W., Kopyrk W. 2004. Możliwości zwiększenia efektywności zabiegów hodowlanych w kształtowaniu odporności lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. IBL, Warszawa.

## SUMMARY

### Damage to forests caused by snow and wind and the ways of counteracting it

Poland is situated in the zone of periodical damage to forests caused by wind and snowfall. The total elimination of damage caused by atmospheric effects is not possible. Therefore, three strategies are to be considered from the economic point of view:

- 1) acceptance of possible losses,
- 2) lumping of losses (through insurance),
- 3) appropriation of funds for reducing the likelihood of their occurrence.

The review concerns the third of the above mentioned strategies based on the assumption that rational performance by foresters may, to a great extent, reduce the intensity and frequency of damage caused by atmospheric effects.

Susceptibility to damage caused by snowfall depends on tree species. Broadleaved species are less frequently damaged than conifers. Most of the authors point to pine as the most susceptible species. The amount of damage is usually decided by a series of site conditions. Many authors point to the combined effects of snow, wind, air humidity and temperature.



The dominant view is that wide spacing has a positive effect on tree resistance to damage from snow. This concerns mainly spruce, as no analogical improvement in tree stability is seen in the case of pine, owing to different types of crown growth of both species.

Improvement felling helps reduce the risk of damage from snow still present in age class 2. Not only the very fact but also the method of improvement felling is important, as too intense cutting may cause as much damage as its avoidance.

While, generally, the threat of damage caused by snowfall decreases with stand growth, the threat from wind increases and its prevention is more complex. Windfalls, snags and twists are the most frequent forms of damage.

Like in the case of damage from snow, species have a crucial impact on the extent of threat from wind. Coniferous species, mainly spruce, are considered most vulnerable. The stands with admixture of beech, which has a beneficial effect through stimulating growth of the spruce root system, are examples of a positive role of admixture species.

The counteracting of the threat from wind by means of silvicultural methods requires fulfillment of contradictory postulates. On one hand, there is the requirement to grow strongly tapered trees, while on the other hand – to maintain the dense canopy of stands. For this reason, individual authors dealing with the issue put an emphasis on various aspects of tree resistance.

The first approach focuses on the shaping of individual resistance, treating tree slenderness as a feature that decides about stability in respect of both abiotic factors. However, in this case, it is necessary to apply wide planting density and/or commence with tending cuts quite early. The second concept considers the maintaining of the spatial-time order the key prophylactic factor. It allows a relative protection of stands from wind blows from the dominant direction.

There is common agreement that the effect of the shape and structure of a stand on the extent of damage decreases with the growing wind power. However, even in the case of extremely strong hurricanes, preventive measures may reduce the amount of damage at forest margins.