

Arkadiusz Bruchwald, Elżbieta Dmyterko¹

Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr

The method of determining risk of wind damage to tree stands

Abstract. The project has developed models of damage risk to tree stands by wind. The models take into consideration the following groups of factors: varied and constant stand characteristics, location of forest district representing location of stand within country regions, where damages occurred in the past.

Five variable stand characteristics were taken into account, including average height, age, species composition, average tree taper (or more precisely – its inverse), and stand density. The average tree height plays the most important role in evaluation of risk – high tree stands have the biggest risk of damage by wind. The constant stand characteristics included only forest site type, but further research should also consider other factors, such as land relief.

The coefficients for the risk models were obtained from the data received from multiple forest districts of Poland, especially those, where stands were damaged by the Kyrill storm in 2007 (Regional Directorates of the State Forests in Wrocław and Katowice). The risk models give the basis for the method presented in this paper. The work also uses information from the database of the Informatics System of the State Forests. Each stand is assigned the damage risk on the scale from 0 to 3. The higher risk value shows higher probability of damage to tree stand in case of strong wind occurrence.

The models of risk of wind damage to tree stands require further improvement, including the more detailed calculation of risk coefficients related to tree species, forest site type, location of forest districts within country regions, and also consequences of previous wind damage occurrences. For the mountainous areas, it would be important to develop risk models, which take into account land relief.

Key words: wind damages, risk models

1. Wstęp

Na las oddziałują czynniki abiotyczne, biotyczne i antropogeniczne (Bruchwald 1988; Miś 1998). W przypadku, gdy ich działanie jest ekstremalne, powstają szkody w drzewostanach i następuje obniżenie produktywności lasu. Ponadto, wystąpienie jednego z czynników powoduje nasilenie negatywnego oddziaływania kolejnego. Jeżeli czynniki abiotyczne występują jako pierwotne, np. susza lub wiatr, to należy oczekiwać intensyfikacji czynników biotycznych, a wśród nich rozwoju grzybów i owadów.

Prowadzenie zrównoważonej gospodarki leśnej wymaga przyjęcia określonych zasad działania, a jedną z najważniejszych jest zasada trwałości lasu (Miś 1983;

Stępień 1995; Bernadzki 1998; Rozwałka 1998; Rykowski 1998; Poznański 2003). Zgodnie z nią las powinien być reprezentowany w odpowiedniej ilości przez drzewostany wszystkich klas wieku, zarówno uprawy i młodniki, drzewostany dojrzewające, dojrzałe i starodrzewia. Pomocne w prowadzeniu gospodarki leśnej są modele lasu, a wśród nich model lasu normalnego (np. Poznański 2003). Korzystanie z modeli wymaga w pierwszej kolejności określenia wieku rębności drzewostanów. Model lasu normalnego zakłada, że nie będzie drzewostanów starszych od przyjętego wieku rębności, a drzewostany młodsze będą się charakteryzowały jednostajnym rozkładem klas wieku. Wszystkie więc klasy czy podklasy wieku powinny mieć taką samą powierzchnię.

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Fax: +48227153837, e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl

Model lasu normalnego jest niedoskonały. Jego krytyka wynika między innymi stąd, że utrzymanie równomiernej struktury wiekowej drzewostanów jest nie-realne. W dostatecznie dużym obiekcie leśnym wyróżnić można 3 grupy drzewostanów:

1) drzewostany, które osiągną wiek rębności z wysokim zapasem,

2) drzewostany, które osiągną wiek rębności z obniżonym zapasem,

3) drzewostany, które nie osiągną wieku rębności.

Występowanie wymienionych 3 grup drzewostanów sprawia, że w lesie o jednakowym udziale powierzchni klas wieku, rozkład będzie się przekształcał w jednoboczny. Wzrastać będzie udział drzewostanów młodszych klas wieku, natomiast maleć drzewostanów starszych. Było to podstawą do sformułowania alternatywnego modelu dla lasu normalnego, nazwanego celowym (Klocek et Borowski 1990, Klocek et Oesten 1993). Model lasu celowego zakłada nierównomierny udział powierzchni drzewostanów w klasach wieku, największą stanowi klasa pierwsza (drzewostany najmłodsze), najmniejszą – klasa ostatnia (drzewostany najstarsze).

Lasy Polski charakteryzują się niskim udziałem drzewostanów I i II klasy wieku, a więc drzewostanów młodych (Leśnictwo 2008). Dotyczy to także lasów zdecydowanej większości nadleśnictw. Tym samym nie pasuje do nich model lasu normalnego, a tym bardziej model lasu celowego. Wprowadzono więc pojęcie lasu rzeczywistego i dla niego należy poszukiwać sposobów optymalnego gospodarowania (Poznański 2000).

Jednym z ważnych pojęć, które należy zdefiniować i przyjąć prowadząc gospodarkę w lesie, to pojęcie „plonu” (Poznański 1994). Wyraża się go miąższością drzewostanów przekraczających określony wiek powiązany z wiekiem rębności (Rutkowski 1971; Miś 1989; Magnuski 1997). Miąższość ta, zwana etatem rębnym, zależy od wielkości powierzchni drzewostanów rębnych oraz ich miąższości, a wymienione elementy są powiązane z niszczyielskim wpływem wiatru (Zajączkowski 1991). Sprawia on, że maleć będzie udział drzewostanów z pierwszej grupy, zaś rosnać – drugiej, charakteryzującej się obniżonym zapasem i trzeciej, której drzewostany, nie dotrważą do wieku rębności.

W styczniu 2007 r. przez Europę przeszedł potężny huragan „Cyril”, który spowodował szkody w lasach oszacowane na 40 mln m³ grubizny. Dotarł on do południowo-zachodniej części naszego kraju, łamiąc lub przewracając drzewa o łącznej miąższości około 2,5 mln m³ (Filipek 2008; Grabowski 2008). Szkody wystąpiły prawie we wszystkich nadleśnictwach RDLP we Wrocławiu oraz w wielu nadleśnictwach RDLP w Katowicach. Odnotowano je również w południowych częściach regionalnych dyrekcji LP w Zielonej Górze i w Poznaniu, a także na północy kraju w RDLP w Pile (Nadleśnictwo Człopa).

Inny huragan, w listopadzie 2004 r., wyrządził duże szkody w drzewostanach nadleśnictw położonych w południowej części RDLP w Katowicach, w tym w lasach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego. W północno-wschodniej części Polski potężny huragan z 2002 r. spowodował olbrzymie szkody zwłaszcza w Nadleśnictwie Pisz (Mikułowski 2002; Zbrożek 2008). W tym samym regionie w lipcu 2006 r. przeszedł huragan zwany „Biały Szwał”. W Polsce odnotowano wiele innych huraganów, niekiedy powiązanych z trąbami powietrznymi, w wyniku których wystąpiły ogromne szkody, np. w Nadleśnictwie Przedbórz w 2006 r. (Janusz 2008).

Postawiono hipotezę, że istnieje możliwość opracowania takiego modelu, który z dużym prawdopodobieństwem wskaże drzewostany mogące zostać uszkodzone w przypadku wystąpienia silnego wiatru.

Celem pracy jest przedstawienie metody określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez niszczyielską działalność wiatru. W dalszej perspektywie umożliwi to wypracowanie odpowiednich sposobów postępowania hodowlanego i urzędzeniowego, ograniczających wielkość tych szkód.

2. Materiał badawczy

Opracowanie metody określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr wymaga zebrania odpowiedniego materiału empirycznego. Powinien on być liczny i dotyczyć wielu nadleśnictw, zwłaszcza tych, w których wiatr wyrządził szkody różnych rozmiarów. Takie możliwości pojawiły się po wprowadzeniu do leśnictwa systemu informatycznego (SILP). Miąższość każdego drzewa lub stosu, z uwzględnieniem gatunku drzewa, przypisana wydzieleniu drzewostanowemu jest zapisywana w systemie.

Z nadleśnictw położonych w regionach kraju, w których w ostatnich latach wystąpiły duże szkody wyrządzone przez wiatr, a więc wchodzących w skład regionalnych dyrekcji LP we Wrocławiu i Katowicach, a także Gdańsku i niektórych nadleśnictwach regionalnych dyrekcji LP w Olsztynie, Szczecinku, Szczecinie, Radomiu i innych, uzyskano materiał empiryczny w postaci zapisanych elektronicznie plików EXEL. Były to dane z raportów, dotyczące pozyskanego surowca zaliczonego do złomów, wywrotów i posuszu. Łącznie w badaniach uwzględniono dane z 14 regionalnych dyrekcji LP. Informacje z 2007 r. pochodziły ze 140, a z 2008 r. – 109 nadleśnictw.

3. Wyniki badań

Opracowanie metody określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr² wymagało przyjęcia następujących założeń:

- jednostką statystyczną jest drzewostan,
- populację stanowią wszystkie drzewostany nadleśnictwa, a przy praktycznym zastosowaniu metody, populację można będzie ograniczyć do drzewostanów obrębu,
- minimalną miąższość złomów, wywrotów i posuzu pozyskaną z 1 ha, powyżej której przyjęto, że drzewostan jest uszkodzony, określa wzór:

$$\text{Szkoła} = 1 + \frac{H}{12} \quad [1]$$

gdzie H to średnia wysokość gatunku głównego drzewostanu,

- w drzewostanie może wystąpić, lub nie, szkoda spowodowana silnym wiatrem; wydzielić więc można frakcję (udział) elementów wyróżnionych i niewyróżnionych w populacji; do określenia wielkości frakcji będzie wykorzystana powierzchnia drzewostanów,
- ryzyko uszkodzenia drzewostanu będzie oceniane w przedziale wartości od 0 do 3, gdzie 0 oznacza brak zagrożenia, a 3 – zagrożenie bardzo wysokie.

Podatność drzewostanu na niszczycielską działalność wiatru będzie zależała od następujących grup czynników:

- zmiennych cech drzewostanu,
- stałych cech drzewostanu,
- położenia nadleśnictwa, a tym samym drzewostanu w regionie kraju,
- szkód które wystąpiły w drzewostanie w przeszłości.

Wymienione grupy czynników stały się podstawą opracowania modeli ryzyka wystąpienia szkód w drzewostanie.

Spośród zmiennych cech drzewostanu, do analiz statystycznych wybrano: średnią wysokość gatunku głównego, wiek gatunku głównego, skład gatunkowy, średnią smukłość oraz czynnik zadrzewienia.

Wymienione cechy zawarte są w bazie LAS będącej częścią Systemu Informatycznego Lasów Państwowych.

Wcześniej przyjęto, że ryzyko uszkodzenia drzewostanu będzie wyrażone liczbą z zakresu od 0 do 3. Spełniając to założenie, średnią wysokość gatunku głównego transformowano do postaci:

$$X_1 = \frac{H}{12} \quad [2]$$

W przypadku $\frac{H}{12} > 3$, należy przyjąć $X_1 = 3$.

Dla poszczególnych obrębów i lat utworzono klasy według X_1 , dla nich obliczono łączną powierzchnię drzewostanów i powierzchnie drzewostanów, w których wystąpiło nadmierne pozyskanie złomów, wywrotów i posuzu. Pozwoliło to na określenie dla każdej klasy udziału drzewostanów uszkodzonych. W przeprowadzonej analizie statystycznej wykazano bardzo silny, dodatni związek między tym udziałem i wartością środkową klasy X_1 . Średnia wartość współczynnika korelacji oceniającego tę moc wynosi 0,878. Szczegółowe wyniki tych badań będą przedmiotem oddzielnego opracowania.

Wiek gatunku głównego transformowano do postaci:

$$X_2 = \frac{w}{40} \quad [3]$$

gdzie w jest wiekiem gatunku głównego.

Gdy $\frac{w}{40} >$, należy przyjąć $X_2 = 3$.

Podobnie jak w przypadku cechy X_1 , dla poszczególnych obrębów obliczono średnią wartość współczynnika korelacji oceniającego moc związku między udziałem powierzchni drzewostanów, na której wystąpiły złomy, wywroty i posusz, a wartością środkową klasy utworzonej według cechy X_2 . Współczynnik ten wynosi 0,728, jest więc dość wysoki.

Cechę powiązaną ze składem gatunkowym drzewostanu określa się wzorem:

$$X_3 = \frac{u_1 \cdot y_1 + u_2 \cdot y_2 + \dots + u_k \cdot y_k}{u_1 + u_2 + \dots + u_k} \quad [4]$$

gdzie:

u_1, u_2, \dots, u_k – udział powierzchniowy poszczególnych gatunków drzew w drzewostanie,

y_1, y_2, \dots, y_k – współczynnik ryzyka gatunku, charakteryzujący jego podatność na uszkodzenie przez wiatr,

k – liczba gatunków drzew w drzewostanie.

Przeprowadzone analizy wskazują, że bardziej odporne na wiatr są gatunki drzew liściastych. Wynika to chociażby z faktu, że huragany występujące poza sezonem wegetacyjnym napotykać na mniejszy opór drzew zrzucających aparat asymilacyjny. Najbardziej odporne na wiatr są: jarzębina, grusza i jabłoń (tab. 1). Na drugim krańcu tej listy jest świerk, dla którego współczynnik ryzyka wynosi 3.

Między udziałem powierzchni drzewostanów uszkodzonych w klasach utworzonych wg cechy X_3 i wartością środkową tych klas występuje dość silny związek. Średnia wartość współczynnika korelacji oceniającego tę moc wynosi 0,710. Cecha ta jest więc przydatna do budowy modelu ryzyka.

² Prezentowana tutaj metoda będzie rozszerzona i zweryfikowana w ramach tematu badawczego "Opracowanie symulacji zagrożeń ekosystemów leśnych od czynników abiotycznych", zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych

Tabela 1. Współczynniki ryzyka dla gatunków drzew

Table 1. Risk coefficients for tree species

Współczynnik ryzyka Risk coefficient	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Gatunek drzewa (skrót) Tree species*	JRZ	GB	DB	BRZ	SO	JD	SW
	WB	OL	DBC	BRZO	Inne SO	DG	
	SOK	OLS	BK	OS			
	JB	AK	KL	LP			
	GR	LB	JW	MD			
		WZ	JS				
		BST					

* JRZ – *Sorbus aucuparia*; WB – *Salix* sp.; SOK – *Pinus mugo*; JB – *Malus sylvestris*; GR – *Pyrus communis*; GB – *Carpinus betulus*; OL – *Alnus glutinosa*; OLS – *Alnus incana*; AK – *Robinia pseudoacacia*; LB – *Pinus cembra*; WZ – *Ulmus minor*; BST – *Ulmus glabra*; DB – *Quercus robur*; DBC – *Quercus rubra*; BK – *Fagus sylvatica*; KL – *Acer platanoides*; JW – *Acer pseudoplatanus*; JS – *Fraxinus excelsior*; BRZ – *Betula pendula*; BRZO – *Betula pubescens*; OS – *Populus tremula*; LP – *Tilia cordata*; MD – *Larix decidua*; SO – *Pinus sylvestris*; Inne SO – other pines; JD – *Abies alba*; DG – *Pseudotsuga menziesii*; SW – *Picea abies*.

Smukłość drzew jest przez wielu autorów faworyzowana w ocenie stabilności drzew i drzewostanów (Abetz 1976; Stępień 1984, 1986; Jaworski et al. 2007). Wyższa smukłość oznacza mniejszą odporność drzew na działanie czynników abiotycznych. Średnia smukłość drzewostanu okazała się być ujemnie skorelowana z udziałem powierzchni drzewostanów uszkodzonych. Wynika to stąd, że drzewostany młode, charakteryzujące się wysoką smukłością, są jednak niskie i bardziej odporne na wiatr. Ponadto drzewa silniej ukorzenione mogą być częściej łamane przez wiatr. Z tych powodów zastosowano odwrotność smukłości w modelu ryzyka. Przeprowadzone poszukiwania doprowadziły do opracowania odpowiedniego algorytmu:

$$S = \frac{D}{H} \cdot 100 \quad [5]$$

gdzie:

D – średnia pierśnica gatunku głównego,
 H – średnia wysokość gatunku głównego.

Jeżeli:

$$S \leq 60 \quad \text{to} \quad X_4 = 0 \quad [6a]$$

$$60 < S \leq 120 \quad \text{to} \quad X_4 = \frac{S}{20} - 3 \quad [6b]$$

$$S > 120 \quad \text{to} \quad X_4 = 3 \quad [6c]$$

Cecha X_4 jest dość silnie skorelowana z udziałem powierzchni drzewostanów uszkodzonych. Średnia wartość współczynnika korelacji oceniającego tę moc wynosi 0,838 co sprawia, że cechę tę wykorzystano do budowy modelu ryzyka.

Czynnik zadrzewienia jest podawany w bazie danych LAS dla drzewostanów, w których występuje grubizna drzewa, a więc mających swój odpowiednik w tablicach zasobności. Dla upraw, a niekiedy również młodników, czynnik zadrzewienia zastępowany jest stopniem zwarcia.

Poszukiwania najsilniejszych powiązań między czynnikiem zadrzewienia (Zad) i udziałem powierzchni drzewostanów uszkodzonych, doprowadziło do opracowania poniżej przedstawionego algorytmu.

Gdy:

$$Zad \leq 0,6 \quad \text{to} \quad X_5 = 5 \cdot Zad \quad [7a]$$

$$0,6 < Zad \leq 1,0 \quad \text{to} \quad X_5 = 5 \cdot (1,2 - Zad) \quad [7b]$$

$$Zad > 1,0 \quad \text{to} \quad X_5 = 1 \quad [7c]$$

Śród uwzględnionych parametrów, cecha X_5 okazała się najsłabiej powiązana z udziałem drzewostanów uszkodzonych, bowiem średnia wartość współczynnika korelacji oceniającego tę moc wynosi 0,517. Zakłócają ten związek uprawy i młodniki, które niezależnie od stopnia zagęszczenia są odporne na wiatr.

Do budowy modelu ryzyka zastosowano sposób wykorzystujący współczynniki kierunkowe równań regresji. Na ogół wyższa wartość współczynnika kierunkowego oznacza silniejsze powiązanie cech. Otrzymane współczynniki przekształcono proporcjonalnie do ich wielkości tak, aby ich suma wyniosła 1. Uzyskano równanie o postaci:

$$R_1 = 0,271 \cdot X_1 + 0,187 \cdot X_2 + 0,228 \cdot X_3 + 0,201 \cdot X_4 + 0,112 \cdot X_5 \quad [8]$$

Równanie jest modelem ryzyka opartym o zmienne cechy drzewostanu. Wartości wag świadczą o wpływie cech na wartość ryzyka. Najsilniej wpływa na nie średnia wysokość drzewostanu, dość silnie skład gatunkowy drzewostanu, a najsłabiej czynnik zadrzewienia.

Do stałych cech drzewostanu mogących wpływać na wystąpienie szkód w drzewostanie zaliczono:

– typ siedliskowy lasu,

– orografię terenu (dla gór zwłaszcza: wysokość położenia drzewostanu nad poziomem morza, względne położenie drzewostanu w stosunku do wierzchołka góry, wystawę, nachylenie stoku),

Tabela 2. Współczynniki ryzyka dla typów siedliskowych lasu

Table 2. Risk coefficients for forest site types

Współczynnik ryzyka Risk coefficient	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Typ siedliskowy lasu Forest site types*	Bs	Bśw	BMśw LMśw Lśw	Bw BMw LMw Lw	Lł Ol OIJ Bb BMb BMwyż LMwyż	BWG	BbG OIG LIg
					LG LMG BG BMG		

* Bs – dry coniferous forest; Bśw – fresh coniferous forest; BMśw – fresh mixed coniferous forest; LMśw – fresh mixed broadleaved forest; Lśw – fresh broadleaved forest; Bw – moist coniferous forest; BMw – moist mixed coniferous forest; LMw – moist mixed broadleaved forest; Lw – moist broadleaved forest; BMwyż – mixed coniferous upland forest; LMwyż – mixed broadleaved upland forest; Lł – flood plain forest; Ol – alder swamp forest; OIJ – ash-alder swamp forest; Bb – boggy coniferous forest; BMb – boggy mixed coniferous forest; LMb – boggy mixed broadleaved forest; Lwyż – upland forest; LG – mountain broadleaved forest; BWG – high-mountain coniferous forest; BbG – boggy mountain coniferous forest; OIG – mountain alder swamp forest; LIg – mountain riparian forest

- położenie drzewostanu względem skraju lasu,
- otwarta ściana drzewostanu, względnie jej brak.

Z wymienionych cech do budowy modelu wykorzystano jedynie typ siedliskowy lasu, gdyż jest on zawarty w bazie SILP i jego pozyskanie nie stanowi problemu.

Zgodnie z przyjętym założeniem, poszczególnym typom siedliskowym lasu przyporządkowano wartości z zakresu od 0 do 3. W tym celu przyjęto następujące zasady klasyfikacji:

- najniższe ryzyko dotyczy typów nizinnych, następnie wyżynnych, a najwyższe górskich,
- w każdej z wymienionych grup typów siedliskowych lasu, ryzyko uszkodzeń wzrasta z powiększaniem się uwilgotnienia siedlisk.

Zgodnie z wymienionymi zasadami, najniższą wartość współczynnika ryzyka związanego z siedliskiem przydzielono borowi suchemu, najwyższą zaś – wilgotnym lasom górskim (tab. 2).

Celem uwzględnienia ryzyka związanego z siedliskiem, zaproponowano cechę:

$$X_6 = \frac{W_s}{12} - c_1 \quad [9]$$

gdzie:

W_s – współczynnik ryzyka związany z siedliskiem (tab. 2),

c_1 – wielkość stała, w pracy przyjęto $c_1 = 0,125$.

Cechą X_6 koryguje się wartość ryzyka otrzymaną za pomocą modelu 1:

$$R_2 = R_1 + X_6 \quad [10]$$

Model 2 obniża otrzymane według modelu 1 wartości ryzyka uszkodzenia drzewostanu dla siedlisk nizinnych i podwyższa dla górskich.

Silne wiatry występują w całej Polsce. Największe jednak szkody w ostatnich latach odnotowano w nadleśnictwach regionalnych dyrekcji LP we Wrocławiu i Katowicach oraz Białymstoku i Olsztynie (Filipek 2008). W tej ostatniej dyrekcji główną przyczyną szkód były obfite opady śniegu, nie będące przedmiotem rozważań w niniejszej pracy. Szkody od wiatru wystąpiły również w niektórych nadleśnictwach RDLP w Gdańsku i innych.

Ustalenie współczynników, które korygowałyby ryzyko uszkodzenia drzewostanu położonego w zagrożonym regionie kraju jest problemem złożonym. Wymaga ono zebrania obszernego materiału empirycznego, dotyczącego pozyskanego surowca drzewnego ze złomów i wywrotów z terenu całego kraju i z wielu lat. Monitoring tych szkód jest problemem ważnym, ma bowiem duże znaczenie, zarówno poznawcze, jak i praktyczne.

Dla poszczególnych regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych przyjęto współczynniki ryzyka uszkodzenia drzewostanów nadleśnictwa z zakresu od 0 do 3. Przy ich ustalaniu uwzględniono m.in. dane dotyczące szkód, które wystąpiły w okresie 1999–2008 w poszczególnych regionalnych dyrekcjach (Filipek 2008). Niskie wartości współczynników przydzielono RDLP w Warszawie, wysokie zaś regionalnym dyrekcjom LP we Wrocławiu, Katowicach, Białymstoku i Olsztynie (tab. 3). W przypadku niektórych dyrekcji zróżnicowano wartości współczynników dla nadleśnictw, np. w RDLP w Gdańsku dając wyższe wartości nadleśnictwom położonym nad morzem, a w regionalnych dyrekcjach LP w

Tabela 3. Współczynnik ryzyka uszkodzeń dla obszarów poszczególnych dyrekcji Lasów Państwowych
Table 3. Risk coefficient for regions administrated by regional directorates of the State Forests (RDLP)

RDLP	Współczynnik ryzyka dla regionu Risk coefficient for a region
Białystok	3
Katowice	3
Kraków	1,5
Krosno	1,5
Lublin	2
Łódź	0 – 1
Olsztyn	3
Piła	0,5
Poznań	0 – 1
Szczecin	0 – 2
Szczecinek	0 – 2
Toruń	0,5
Wrocław	3
Zielona Góra	0 – 1,5
Gdańsk	0 – 2,0
Radom	0,5
Warszawa	0

Zielonej Górze i Poznaniu – nadleśnictwom położonym na południu. Współczynniki te są podstawą korekty modelu 2.

Przyjęto cechę:

$$X_1 = \frac{W_r}{c_2} \quad [11]$$

$$R_3 = R_2 + X_7 \quad [12]$$

gdzie:

W_r – współczynnik ryzyka regionalnego,
 c_2 – wielkość stała, w pracy przyjęto $c_2 = 24$.

W porównaniu z modelem 2, model 3 daje wyższe wartości ryzyka uszkodzenia drzewostanów, zwłaszcza dla regionalnych dyrekcji LP w Białymstoku, Olsztynie, Wrocławiu i Katowicach.

Gdy wiatr lub inny czynnik wyrządzi szkody w drzewostanie, wówczas należy oczekiwać ich pogłębienia w przypadku wystąpienia kolejnego huraganu. Uwzględnienie tego elementu w modelu ryzyka jest zagadnieniem trudnym. Wynika to m.in. z braku dostatecznej ilości materiału empirycznego, mogącego doprowadzić do zbudowania modelu. Propozycję tymczasowo rozwiązującą ten problem, oparto na cesze określonej wzorem:

$$X_8 = \sum c_3 \cdot [10 - (rb - r_i)] \cdot V_i \quad [13]$$

dla $i = 1, 2, \dots, 10$

gdzie:

rb – rok bieżący,
 r – rok w którym wystąpiła szkoda,

V – miąższość drzew zniszczonych przez wiatr lub inny czynnik, przeliczona na powierzchnię 1 ha,

c_3 – wielkość stała, w pracy przyjęto $c_3 = 0,0005$.

Sumowanie dotyczy $i = 10$ ostatnich lat.

Cecha X_8 ma następujące ograniczenia:

gdy $X_8 > 0,25$ to $X_8 = 0,25$

gdy wiatr uszkodził cały drzewostan, to $X_8 = 0$

Zgodnie ze wzorem [13], ryzyko uszkodzenia będzie tym większe, im w większym stopniu drzewostan został zniszczony przez wiatr, co wyraża się miąższością uszkodzonych drzew. Największe ryzyko dotyczy momentu po wystąpieniu kłęski i maleje z upływem lat. Powiększa się ono również w przypadku wystąpienia w ostatnim okresie większej liczby szkód. Oczywiście gdy drzewostan zostanie całkowicie zniszczony przez wiatr, wówczas następuje jego przekształcenie w uprawę i ryzyko uszkodzenia spada do zera.

Model ryzyka uwzględniający konsekwencje wystąpienia szkód od wcześniejszych wiatrów lub innych czynników ma postać:

$$R_4 = R_3 + X_8 \quad [14]$$

z ograniczeniem, że gdy $R_3 + X_8 > 3$ to należy przyjąć $R_4 = 3$.

Celem sprawdzenia funkcjonowania modelu R_3 , zastosowano go w dwóch nadleśnictwach, pierwszym położonym na nizinach i drugim – w górach. Dla każdego wydzielenia drzewostanowego obliczono współczynnik ryzyka uszkodzenia, po czym utworzono 6 klas, dla których określono powierzchnię i jej udział w powierzchni całkowitej nadleśnictwa. Dalej obliczono w klasach ryzyka powierzchnię drzewostanów uszkodzonych przez wiatr, którą następnie wyrażono w procentach powierzchni całkowitej danej klasy.

W nadleśnictwie nizinnym, gdzie głównym gatunkiem jest sosna, miała miejsce w 2004 r. potężna wichura, która połamała lub przewróciła drzewa o łącznej masie około 140 tys. m³. Nadleśnictwo ma obszar 19 tys. ha, a szkody odnotowano na powierzchni 7 tys. ha, co stanowi 37% powierzchni nadleśnictwa. W nadleśnictwie największy udział ma 5 klasa wysokiego ryzyka uszkodzenia, występuje również klasa 6 – ryzyka bardzo wysokiego (tab. 4). Im wyższa klasa ryzyka, tym większy w niej udział drzewostanów uszkodzonych. W klasie najwyższego ryzyka stwierdzono około 70% powierzchni drzewostanów uszkodzonych.

W nadleśnictwie górskim duże szkody wyrządził huragan „Cyryl”, który dotarł do Polski 18 stycznia 2007 r. Wyniosły one 100 tys. m³ surowca drzewnego pozyskanego ze złomów i wywrotów i objęły 42% powierzchni nadleśnictwa. Stosując model 3, obliczono udziały powierzchni w klasach ryzyka. Największy udział dotyczy klasy 6 (najwyższego ryzyka), wysoki jest również udział klasy 5 (wysokiego ryzyka) (tab. 4). W dwóch najniższych klasach nie odnotowano szkód, w klasie 3

Tabela 4. Udział powierzchni łącznej i powierzchni drzewostanów uszkodzonych w klasach ryzyka dla dwóch nadleśnictw (%)

Table 4. Share of forest area and area of damaged tree stands within risk classes for two forest districts (%)

Klasa ryzyka Risk classes	Powierzchnia drzewostanów Area of stands	Powierzchnia drzewostanów uszkodzonych Area of damaged tree stand
nadleśnictwo nizinne / lowland forest district		
0,0 – 0,5	8,8	0,0
0,5 – 1,0	3,7	3,5
1,0 – 1,5	19,1	13,4
1,5 – 2,0	24,9	34,7
2,0 – 2,5	36,6	56,4
2,5 – 3,0	6,9	68,7
Razem / Total	100	36,7
nadleśnictwo górskie / mountain forest district		
0,0 – 0,5	8,9	0,0
0,5 – 1,0	3,5	0,0
1,0 – 1,5	2,5	0,5
1,5 – 2,0	13,8	19,5
2,0 – 2,5	22,8	32,6
2,5 – 3,0	48,5	65,7
Razem / Total	100	41,6

szkody są minimalne, a największe wystąpiły w klasie 6 i dotyczyły 65,7% powierzchni drzewostanów tej klasy.

Metoda określania ryzyka, oparta na opracowanych w niniejszej pracy modelach jest w praktycznym stosowaniu bardzo prosta. Dane wejściowe pozyskuje się z bazy LAS, która stanowi integralną część SILP. Do korzystania z metody niezbędna jest również znajomość odpowiednich współczynników ryzyka dla określonego gatunku drzewa, typu siedliskowego lasu i położenia drzewostanu w regionie kraju. Pewne trudności mogą wystąpić w stosowaniu modelu 4, uwzględniającego wielkość szkód z poprzednich lat, bowiem nie zawsze dostępne są te informacje. Można wówczas skorzystać z danych niekompletnych, lub zrezygnować ze stosowania modelu 4. Bez większych problemów można natomiast stosować model 3.

4. Dyskusja

W pracy przedstawiono modele ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Badania zmierzające do zbudowania modeli ryzyka były już prowadzone wcześniej. Dotyczyły one głównie pojedynczych drzew różnych gatunków (Valinger et Fridman 1998, 1999; Saunderson et al. 1999). Bardziej rozwinięte modele wiązały ryzyko uszkodzenia przez wiatr z usytuowaniem drzewostanu

(Peltola et Kellomäki 1993; Peltola 1996; Ni Dhubhain et al. 2001).

Modele ryzyka zaprezentowane w niniejszej pracy są pierwszymi tego typu opracowaniami w Polsce. Uwzględniają one 4 grupy czynników: zmienne cechy drzewostanu, stałe cechy drzewostanu, położenie drzewostanu w regionie kraju oraz wielkość szkód, które wystąpiły w drzewostanie w przeszłości. Większość badań nad stabilnością lasu dotyczyła drzew drzewostanu, a ich pionierem w Polsce był prof. Jan Zajączkowski (1984, 1991). Wyniki jego badań (Zajączkowski 1984, Zajączkowski et al. 2004), a także innych autorów (Gil et Zachara 2006, Zachara 2006), przyczyniły się do wypracowania odpowiednich metod pielęgnowania drzewostanów. Interesujące wyniki badań uzyskali Koziński i Nienartowicz, stosując do oceny wpływu wiatru na las techniki geomatyczne (Koziński et Nienartowicz 2006; Koziński 2007). Ocenie podlegały drzewostany Borów Tucholskich, w których szkody w 1988 r. wyrządził huragan „Lothar”. Autorzy stwierdzili m.in. związek wielkości szkód z układem przestrzennym drzewostanów, w tym ich powiązaniem ze skrajem lasu. Wcześniej takie techniki stosował Zawila-Niedźwiecki (1994 a, b), który oceniał stan zagrożonych ekosystemów leśnych, a także lasów po wystąpieniu kłęski.

Istotą metody zaproponowanej w niniejszej pracy jest zastosowanie oprócz stałych cech drzewostanu, jego cech zmiennych: średniej wysokości, wieku, składu gatunkowego, smukłości (ściślej jej odwrotności) i czynnika zadrzewienia. Leśnik w swej działalności gospodarce może wpływać przynajmniej na niektóre z wymienionych cech. Na terenie, gdzie prawdopodobieństwo wystąpienia huraganów jest duże, nie powinno się np. wprowadzać wysokich wieków rębności. Skład gatunkowy drzewostanów powinien być zróżnicowany, z dużym udziałem gatunków liściastych, bardziej odpornych na wiatr. To tylko niektóre problemy związane ze stabilnością lasu, wymagające szczegółowych rozwiązań.

5. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono modele ryzyka uszkodzenia drzewostanów oraz na ich podstawie metodę określania ryzyka. Stosowanie metody jest mało pracochłonne, bowiem wykorzystuje ona dla drzewostanu dane z systemu informatycznego (SILP).

Najdokładniejszym powinien być model R_4 , który uwzględnia konsekwencje wystąpienia wcześniejszego wiatru. W przypadku braku informacji o wielkości szkód w poprzednich latach, należy stosować model R_3 .

Metoda określa dla każdego drzewostanu pewną liczbę z zakresu od 0 do 3, informującą o możliwości wystąpienia w drzewostanie szkód spowodowanych wia-

trem. Najbardziej zagrożonymi są te drzewostany, dla których wartość ryzyka jest równa lub bliska 3.

Wartość ryzyka uszkodzenia drzewostanów można nanieść na leśną mapę numeryczną. Uzyska się wówczas informację o przestrzennym układzie ryzyka uszkodzenia drzewostanów. Skupiskowy układ drzewostanów wysokiego ryzyka wskaże duże zagrożenie większej powierzchni leśnej.

Znając wartości ryzyka drzewostanu, można podjąć działania zmierzające do jego obniżenia, wchodzące w zakres planowania hodowlanego i urzędzeniowego.

Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr wymaga przeprowadzenia oceny dokładności. Przydatne do tego celu będą materiały dotyczące pozyskanego surowca drzewnego w postaci złomów i wywrotów powstałych po huraganie „Cyryl”, a także innych huraganach i trąbach powietrznych, które przeszły nad Polską w 2008 i 2009 r.

Model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr wymaga doskonalenia. Zwłaszcza precyzyjniejszego opracowania współczynników ryzyka, związanych z gatunkiem drzewa, typem siedliskowym lasu, położeniem nadleśnictwa w regionie kraju, a także konsekwencjami wystąpienia wcześniejszych wiatrów. Dla gór ważnym problemem będzie opracowanie modelu ryzyka występującego również rzeźbę terenu.

Literatura

- Abetz P. 1976. Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d-Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad. *Der Forst-und Holzwirt*, 19: 389–393.
- Bernadzki E. 1998. Zasady trwałej gospodarki leśnej a hodowla lasu. [W:] Trwały i zrównoważony rozwój lasów (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa: 13–26.
- Bruchwald A. 1988. Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. *Sylwan*, 11–12: 1–10.
- Filipek Z. 2008. Szkody w wyniku zjawisk kłęskowych na terenie Lasów Państwowych w ostatnich latach. [W:] Kłęski żywiołowe w lasach zagrożeniem dla wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. SITLiD, Wyd. „Świat”, Warszawa: 7–13.
- Gil W., Zachara T. 2006. Analiza szkód od wiatru w wybranych drzewostanach świerkowych i sosnowych. *Leśne Prace Badawcze*, 4: 77–99.
- Grabowski L. 2008. Szkody od huraganu w 2007 r. w RDLP Wrocław. [W:] Kłęski żywiołowe w lasach zagrożeniem dla wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. SITLiD, Wyd. „Świat”, Warszawa: 55–71.
- Janusz E. 2008. Szkody od huraganu w 2007 r. w drzewostanach RDLP Łódź. [W:] Kłęski żywiołowe w lasach zagrożeniem dla wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. SITLiD, Wyd. „Świat”, Warszawa: 14–16.
- Jaworski A., Paluch J. 2007. Charakterystyka cech morfologicznych jodeł w drzewostanach o strukturze przerębowej Beskidów Zachodnich. *Leśne Prace Badawcze*, 3: 7–31.
- Kłoczek A., Borowski B. 1990. Las celowy – nowa idea w leśnictwie. *Las Polski*, 20: 14–15.
- Kłoczek A., Oesten G. 1993. Optymalizacja wieku rębności w lesie normalnym oraz celowym. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria A*, 747: 4–31.
- Koziński G. 2007. Model przestrzenny szkód wywołanych przez wiatr w drzewostanach Borów Tucholskich. Maszynopis rozprawy doktorskiej. Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu. Wydział Biologii i Nauki o Ziemi.
- Koziński G., Nienartowicz A. 2006. Spatial distribution and extent of damages by wind storms in tree stands of the Tuchola Forest. [W:] Insect outbreaks in managed and unmanaged forests. (ed A. Kolk), Forest Research Institute: 89–105.
- Leśnictwo 2008, GUS. Warszawa.
- Magnuski K. 1997. Regulacja rozmiaru użytkowania rębnego w gospodarstwie zrębowym metodami EBSA i PEREAL. [W:] Zagadnienia praktyczne z urządzania lasu. Część I. Inwentaryzacja i plany urządzania lasu. Wyd. AR, Poznań: 215–228.
- Mikułowski M. 2002. Problemy zagospodarowania lasu na terenie kłęski wiatrowej z lipca 2002 r. w północno-wschodniej Polsce. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria A*, 3: 129–133.
- Miś R. 1983. Problemy trwałości lasu w obecnych warunkach stanu środowiska leśnego w Polsce. *Las Polski*. 12: 6–8.
- Miś R. 1989. Regulacja produkcji drewna w ekosystemach leśnych. *Sylwan*, 8: 7–21.
- Miś R. 1998. Czynniki szkodotwórcze w lasach i powodowane straty. [W:] Kongres Leśników Polskich. Materiały i dokumenty. T. 2. Cz. 1. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzczak, Warszawa: 159–164.
- Ni Dhubbain A., Walshe J., Bulfin M., Keane M., Mills P. 2001. The initial development of a windthrow risk model for Sitka spruce in Ireland. *Forestry*, 74(2): 161–170.
- Peltola H. 1996. Model computations on wind flow and turning moment by wind for Scot pines along the margins of clear cut areas. *Forest Ecology and Management*, 83: 203–215.
- Peltola H., Kellomäki S. 1993. A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scots pines at stand edge. *Silva Fennica*, 27(2): 99–111.
- Poznański R. 1994. Nowa definicja plonu w leśnictwie. *Sylwan*, 6: 49–52.
- Poznański R. 2000. Idea lasu celowego a idea lasu rzeczywistego. *Sylwan*, 2: 57–67.
- Poznański R. 2003. Wpływ czynników otoczenia na przeżywanie i ubywanie drzewostanów w klasach wieku. Wyd. S.C. DRUKROL. Kraków.
- Rozwałka Z. 1998. Ogólne tezy trwałego i zrównoważonego rozwoju lasów i leśnictwa w perspektywie do 2050 r. [W:] Trwały i zrównoważony rozwój lasów. (red. K. Rykowski). Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa: 13–26.
- Rutkowski B. 1971. Problem regulacji w gospodarstwie leśnym. *Sylwan*, 3: 1–11.
- Rykowski K. 1998. Trwały i zrównoważony rozwój lasów – zarys problematyki. [W:] Trwały i zrównoważony rozwój lasów. (red. K. Rykowski) Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa: 165–191.

- Saunderson S. E. T., England A. H., Baker C. J. 1999. A dynamic model of the behaviour of Sitka spruce in high winds. *Journal of theoretical Biology*, 200: 249–259.
- Stępień E. 1984. Przesłanki z zakresu zarządzania lasu, kształtowania odporności drzewostanów na niektóre czynniki abiotyczne. III Sympozjum Ochrony Ekosystemów Leśnych. Wyd. SGGW. Warszawa.
- Stępień E. 1986. Zwiększanie stabilności drzewostanów przy pracach odnowieniowych. *Sylwan*, 1: 13–21.
- Stępień E. 1995. Idea trwałości lasu – nowe treści, problem realizacji. *Sylwan*, 12: 5–11.
- Valinger E., Fridman J. 1998. Modelling probability of snow and wind damage using tree, stand, and site characteristics from *Pinus sylvestris* sample plots. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13: 348–356.
- Valinger E., Fridman J. 1999. Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, and birch forests in Sweden. *Environmental Management*, 24, 2: 209–217.
- Zachara T. 2006. Problem szkód w lasach powodowanych przez śnieg i wiatr oraz sposoby przeciwdziałania im. *Sylwan*, 10: 56–64.
- Zajączkowski J. 1984. Problem nadmiernego obniżania zapasu drzewostanów przez niewłaściwie prowadzone trzebieże późne. *Sylwan*, 7: 13–20.
- Zajączkowski J. 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wydawnictwo „Świat”. Warszawa.
- 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. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Zawiła-Niedźwiecki T. 1994a. Teledetekcja i systemy informacji przestrzennej w ocenie stanu lasu i monitorowaniu obszarów pokłeskowych. Materiały Konferencji: „Systemy informacji przestrzennej o lasach”: Katedra Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej SGGW. Warszawa, 95–108.
- Zawiła-Niedźwiecki T. 1994b. Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, XLI: 90: 7–84.
- Zbrożek P. 2008. Klęska huraganu w Puszczy Piskiej (4.07.2002 r.) – ocena skutków po 6 latach. Klęski żywiołowe w lasach zagrożeniem dla wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. SITLiD, Wyd. „Świat”, Warszawa: 29–41.