

STANISŁAW ZIĘBA, MARCIN DOLEŻUCHOWICZ, JAN BANAŚ, LESZEK BUJOCZEK

# Ocena funkcjonowania modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr w górach na przykładzie Tatrzańskiego Parku Narodowego

Assessment of the risk models of the wind damage to the stands in the mountains – the Tatra National Park case study

## ABSTRACT

Zięba S., Doleżuchowicz M., Banaś J., Bujoczek L. 2016. Ocena funkcjonowania modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr w górach na przykładzie Tatrzańskiego Parku Narodowego. Sylwan 160 (5): 378-387.

The paper assesses the performance of the risk models of the wind damage to the mountain forest stands located in the Tatra National Park (southern Poland). The models assume that the forest susceptibility to the damage from the wind depends on the characteristics of stands, their location and frequency of the occurrence of damage in the past. According to the methodology we built 5 variants of models, which take into account the following attributes: various stand features, forest type, regional factor of the damage to the trees, thickness scrap, subversive and deadwood from the stand in the last 10 years, characteristics of the terrain: exhibition, slope inclination and altitude above sea level. The model output is a classification of the stand susceptibility to the wind damage expressed by a number between 0 and 3 (0.5 interval). The suitability of each variant was tested by comparing the in-class rate as well as the area and growing stock of undamaged and damaged stands. In this study we rated 2908 stands with a total area of 15,386.05 ha. Taking into account the risk class, it is possible to develop the appropriate procedures in order to limit the damage. The analysis conducted for the forests of the Tatra National Park showed high compliance of the developed risk models with the damages arising by the wind. This is confirmed by a particularly high proportion of damaged forest stands included in the class of high risk. Their fraction ranged from 43.8% ( $W_{R1}$ ) to 92.4% ( $W_{R5}$ ). Considering the position and stands characteristics the greatest damage arose at an altitude of 950 to 1000 m (70.2%) and the exposures NW, N and NE (60.2%).

## KEY WORDS

Norway spruce, damaged from the wind, mountain forests, forestry planning, regional planning

## ADDRESSES

Stanisław Zięba <sup>(1)</sup> – e-mail: rzieba@cyf-kr.edu.pl

Marcin Doleżuchowicz <sup>(2)</sup> – e-mail: mdolezuchowicz@tpn.pl

Jan Banaś <sup>(1)</sup> – e-mail: rlbanas@cyf-kr.edu.pl

Leszek Bujoczek <sup>(1)</sup> – e-mail: lbujoczek@gmail.com

<sup>(1)</sup> Zakład Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

<sup>(2)</sup> Tatrzański Park Narodowy; ul. Kuźnice 1, 34-500 Zakopane

## Wstęp

Powstawanie w drzewostanach szkód od wiatru jest zjawiskiem naturalnym i dotyczy wszystkich ekosystemów leśnych, zarówno zagospodarowanych, jak i wyłączonych z gospodarczego użytkowania. Ich nasilenie związane jest najczęściej z położeniem drzewostanów oraz z ich gospodarczymi i biologicznymi cechami [Bruchwald, Dmyterko 2010]. Wiatrołomy i wiatrowały częściej bowiem powstają w drzewostanach osłabionych (głównie przez owady i grzyby), o uproszczonej budowie gatunkowej i piętrowej oraz wzrastających w rejonach górskich.

Pojawiające się szkody od wiatru wpływają w sposób bezpośredni na dynamikę procesów lasotwórczych, prowadząc często do obniżenia stabilności ekosystemów leśnych. Sprzyja to dalszym niekorzystnym oddziaływaniom innych czynników, takich jak susza, wysoka i niska temperatura, śnieg oraz zanieczyszczenie powietrza [Troll 1995; Sobik i in. 1998; Mikułowski 2002; Jaszczak, Miotke 2011]. W pracach nad oceną szkodliwego oddziaływania wiatru na las istotną rolę odgrywają badania nad odpornością różnorodnych zbiorowisk leśnych. Dotyczą one głównie oceny drzewostanów pod względem składu gatunkowego, budowy koron, wysokości i pierśnicy drzew [Peltola i in. 2000], a ponadto ich położenia, w szczególności wysokości nad poziomem morza, ekspozycji [Zajączkowski 1991] oraz odległości od granicy lasu [Ruel i in. 1998]. Z uwagi na duży zasięg drzewostanów narażonych na wiatry ważną część w pracach naukowych stanowią badania oceny możliwości pojawienia się szkód w większych jednostkach przestrzennych. Ich efektem są między innymi metody waloryzacji klasyfikujące drzewostany ze względu na ich obniżoną stabilność [Przybylska 1999] oraz modele typujące z określonym prawdopodobieństwem drzewostany, w których mogą powstać uszkodzenia w przypadku wystąpienia silnego wiatru.

W Polsce badania nad modelowym ujęciem powstawania szkód zainicjowane zostały przez Bruchwalda i Dmyterko [2010, 2011], a opracowane przez nich modele ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr są ciągle udoskonalane. Istotą funkcjonowania modeli ryzyka uszkodzenia lasu przez wiatr jest poszukiwanie wzorców drzewostanów odpornych na działanie wiatrów. Są one opisywane przez odpowiednio dobrany zestaw cech cząstkowych, opisujących strukturę drzewostanów, ich położenie oraz historię rozwoju. Ocena możliwości pojawienia się szkód z wykorzystaniem modeli polega na kompleksowej ocenie drzewostanów pod kątem uwzględnionych w modelu cech cząstkowych. Wielkość odstępstwa od wartości wzorcowych pozwala na przypisanie drzewostanom odpowiedniego stopnia ryzyka.

Określenie odporności drzewostanów na działanie wiatru wymaga zatem odpowiedniego doboru cech do opisu wzorcowych drzewostanów. Z poznawczego i praktycznego punktu widzenia ważnym zagadnieniem staje się poznanie diagnostycznego znaczenia cech ujętych w modelu oceny ryzyka uszkodzenia drzewostanów. Diagnostyczną wartość cechy można uznać wtedy, gdy rozpoznane są zależności między jej wartością a nasileniem uszkodzenia w drzewostanie. Równie ważna jest znajomość prognostyczna danej cechy, tj. wpływu zmiany jej wartości na przebieg wzrostu i dynamiki procesów rozwojowych drzewostanów. Pozwala to bowiem wiarygodnie ocenić konsekwencje stwierdzonych uszkodzeń, co stanowić powinno podstawę opracowania odpowiedniej strategii postępowania przy planowaniu zabiegów hodowlano-pielęgnacyjnych i ochronnych (w tym przebudowy).

Celem pracy jest scharakteryzowanie wielkości i struktury przestrzennej szkód od wiatru powstałych w drzewostanach Tatrzańskiego Parku Narodowego (TPN) w grudniu 2013 roku, ocena zgodności ryzyka uszkodzeń opisanych przez modele z powstałymi szkodami oraz analiza możliwości zastosowania różnych wariantów modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr w górach.

## Material i metody

Objęte analizą drzewostany Tatrzańskiego Parku Narodowego zajmują powierzchnię 15 386,05 ha. Tworzy je 2908 wydzieleni drzewostanowych podzielonych na 13 obwodów ochronnych o powierzchni od 282,75 do 2546,7 ha. Na obszarze badawczym dominują siedliska boru wysokogórskiego BWG (45,1%), mniejszy obszar zajmują siedliska lasu mieszanego górskiego LMG (24,2%), lasu górskiego LG (23,9%) oraz boru mieszanego górskiego BMG – 6,1%. W składzie drzewostanów najczęściej panuje świerk (75,1%), znaczny udział mają również zespoły z panującą w składzie kosodrzewiną (18,3%). Spośród pozostałych typów drzewostanów warto wymienić jedliny (2,4%) i buczyny (1,8%). W piętrze drzewostanów wiek gatunków panujących jest najczęściej wyższy od 100 lat (41,0%), a drzewostany w wieku poniżej 60 lat zajmują łącznie 34,5%. Drzewostany występują przede wszystkim na wysokości powyżej 900 m n.p.m. Zaledwie 11,7% drzewostanów położonych jest poniżej tej wysokości. Najczęściej zajmują stoki łagodne (24,4%), pochyłe (29,1%) lub spadziste (27,1%), rzadziej natomiast o większym nachyleniu (strome 12,6%, bardzo strome 6,2%, urwiste 0,6%). Dominują wśród nich głównie wystawy północne, które łącznie zajmują 53,3% (N – 17,7%, NW – 19,7%, NE – 15,8%).

Szczegółowy opis metodyki budowy modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr przedstawiono w pracach Bruchwalda i Dmyterko [2010, 2013]. Za jednostkę statystyczną uznano wydzielenie drzewostanowe, natomiast populację generalną stanowią wszystkie drzewostany Parku. Drzewostan traktowano jako uszkodzony, jeżeli minimalna miąższość złomów, wywrotów oraz posuszu pozyskana z 1 ha była wyższa od wartości wyrażonej wzorem:

$$Sz\text{koda} = 1 + \frac{H}{12}$$

gdzie:

$H$  – średnia wysokość gatunku głównego.

Dla każdego wydzielenia obliczono współczynnik ryzyka, który przyjmował wartości od 0 do 3. Im wyższa wartość współczynnika, tym drzewostan jest bardziej narażony na niszczycielską działalność wiatru.

Material badawczy stanowiły opisy taksacyjne drzewostanów znajdujące się w bazie SILP Tatrzańskiego Parku Narodowego według stanu na 2004 rok, mapa numeryczna oraz dane dotyczące pozyskania drewna w wydzieleniach leśnych TPN w ramach cięć sanitarnych w latach 2004-2013.

Na podstawie danych opracowano 5 wariantów modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr [Bruchwald, Dmyterko 2010, 2013]. Każdy z nich uwzględniał następujące cechy:

- wariant  $W_{R1}$ : średnią wysokość gatunku głównego drzewostanu, jego przeciętną pierśnicę i średni wiek, skład gatunkowy i czynnik zadrzewienia, a dla upraw i młodników stopień zagęszczenia;
- wariant  $W_{R2}$ : cechy wariantu  $W_{R1}$  i dodatkowo typ siedliskowy lasu;
- wariant  $W_{R3}$ : cechy wariantu  $W_{R2}$  i dodatkowo współczynnik regionalnego ryzyka uszkodzenia drzewostanów;
- wariant  $W_{R4}$ : cechy wariantu  $W_{R3}$  oraz miąższość złomów, wywrotów i posuszu pozyskaną w drzewostanach w ostatnich 10 latach;
- wariant  $W_{R5}$ : cechy wariantu  $W_{R4}$  oraz położenie drzewostanów (wysokość nad poziomem morza, ekspozycja, nachylenie stoku).

W kolejnym etapie każdy drzewostan, w zależności od wartości wskaźnika ryzyka uszkodzenia przez wiatr, zaliczono do jednej z sześciu klas, według następującego schematu [Bruchwald, Dmyterko 2010]: klasa 1:  $W_R \leq 0,5$ , klasa 2:  $0,5 < W_R \leq 1$ , klasa 3:  $1 < W_R \leq 1,5$ , klasa 4:  $1,5 < W_R \leq 2$ , klasa 5:  $2 < W_R \leq 2,5$ , klasa 6:  $W_R > 2,5$ .

Dla każdej klasy określono powierzchnię oraz jej udział w ogólnej powierzchni drzewostanów Parku. Dane te poddano wizualizacji z zastosowaniem technologii GIS, generując mapy prezentujące przestrzenne rozmieszczenie drzewostanów o różnym stopniu podatności na uszkodzenie od wiatru. Na mapie odpowiednimi kolorami zaznaczono drzewostany charakteryzujące się określonym współczynnikiem ryzyka uszkodzenia.

W celu sprawdzenia funkcjonowania modeli w zasięgu TPN porównano w wyróżnionych klasach ryzyka uszkodzenia ogólną powierzchnię i zapas drzewostanów nieuszkodzonych z uszkodzonymi przez wiatr w grudniu 2013 roku.

Do oceny zagrożenia drzewostanów zastosowano miernik zagrożenia lasu  $M_s$  [Bruchwald, Dmyterko 2014]:

$$M_s = \frac{2p_5 + 3p_6}{5}$$

gdzie:

- $p_5$  – powierzchniowy udział drzewostanów w 5 klasie współczynnika ryzyka uszkodzenia,
- $p_6$  – powierzchniowy udział drzewostanów w 6 klasie współczynnika ryzyka uszkodzenia.

Ponadto dla każdego drzewostanu określono wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Wienera [Duelli, Obrist 2003; Sienkiewicz 2010] i określono relacje pomiędzy klasą różnorodności gatunkowej drzewostanu a klasą ryzyka oraz rozmiarem szkód spowodowanych przez wiatr.

## Wyniki

Określone dla drzewostanów TPN modele ryzyka uszkodzenia wskazują na wysokie prawdopodobieństwo pojawienia się nich szkód od wiatru. Świadczy o tym przede wszystkim znaczny udział powierzchni drzewostanów o wysokim lub bardzo wysokim ryzyku uszkodzenia ( $W_R > 2,0$ ) oraz określony na tej podstawie wysoki miernik zagrożenia lasu ( $M_s$ ), w zależności od wariantu modelu miernik zagrożenia  $M_s$  dla drzewostanów TPN kształtował się od 32,6 ( $W_{R1}$ ) do 53,9 ( $W_{R5}$ ).

Według opracowanych modeli na wysokie ryzyko uszkodzenia drzewostanów w analizowanym obiekcie mają głównie wpływ ich cechy wewnętrzne (znaczny udział świerczyn o prostej budowie) oraz położenie w terenie górskim. Znaczenie położenia dla ryzyka uszkodzenia drzewostanów widoczne jest szczególnie przy ocenie różnych wariantów modeli pod kątem udziału drzewostanów zaliczonych do klas o wysokim (5) i o bardzo wysokim (6) ryzyku uszkodzenia (tab. 1). O ile np. według wariantu  $W_{R4}$  drzewostany zaliczone do 5 i 6 klasy ryzyka uszkodzenia stanowiły odpowiednio 22,7 i 47,5% powierzchni drzewostanów, to według modelu  $W_{R5}$ , a więc w wariantcie uwzględniającym cechy położenia, powierzchnia drzewostanów zaliczonych do 5 klasy ryzyka uszkodzenia stanowiła zaledwie 13,5% ogólnego udziału, natomiast 80,9% drzewostanów zaliczonych zostało do klasy 6.

W wyniku huraganu w grudniu 2013 roku uszkodzonych zostało 508 drzewostanów zajmujących powierzchnię 3058,4 ha (tab. 2). Stanowi to 17,5% ogólnej liczby wydzieleń drzewostanowych i 19,9% ogólnej powierzchni drzewostanów w TPN. Łączną miąższość wiatrołomów i wiatrowałów oszacowano na 105 305,2 m<sup>3</sup>. Uszkodzone zostały głównie drzewostany o niewielkiej różnorodności gatunkowej, posiadające 1 (59%) lub 2 klasę (40%) wskaźnika Shannona-Wienera ( $W_{S,W}$ ). Wśród drzewostanów zaliczonych do 1 klasy  $W_{S,W}$  najliczniej występowały drzewostany (36%), w których uszkodzeniu uległo 40-60% drzew, natomiast w klasie 2  $W_{S,W}$  najwięcej było drzewostanów (38%), w których uszkodzone drzewa stanowiły około 20% ogólnej ich liczby (tab. 3).

Tabela 1.

Liczba (N) i udział (%N) oraz powierzchnia (A [ha]) i udział powierzchniowy (%A) drzewostanów Tatrzańskiego Parku Narodowego w klasach ryzyka (1-6) według wariantów modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr ( $W_R$ )

Number (N) and share (%N) as well as area (A [ha]) and aerial share (%A) of the Tatra National Park stands in risk classes (1-6) with respect to the variants of wind damage risk model ( $W_R$ )

		1	2	3	4	5	6
$W_{R1}$	N	434	86	151	391	1005	841
	%N	14,9	3,0	5,2	13,4	34,6	28,9
	A	2476,52	440,43	606,01	1637,57	5564,49	4661,03
	%A	16,1	2,9	3,9	10,6	36,2	30,3
$W_{R2}$	N	404	111	136	336	926	995
	%N	13,9	3,8	4,7	11,6	31,8	34,2
	A	2208,91	673,41	554,02	1450,3	4809,88	5689,53
	%A	14,4	4,4	3,6	9,4	31,3	37,0
$W_{R3}$	N	381	125	128	292	813	1169
	%N	13,1	4,3	4,4	10,0	28,0	40,2
	A	1981,98	868,93	534,18	1263,63	3904,8	6832,53
	%A	12,9	5,6	3,5	8,2	25,4	44,4
$W_{R4}$	N	379	125	122	288	752	1242
	%N	13,0	4,3	4,2	9,9	25,9	42,7
	A	1981,98	868,93	503,18	1228,82	3494,42	7308,72
	%A	12,9	5,6	3,3	8,0	22,7	47,5
$W_{R5}$	N	16	14	43	118	471	2246
	%N	0,6	0,5	1,5	4,1	16,2	77,2
	A	92,18	152,28	168,85	457,64	2074,06	12441,04
	%A	0,6	1,0	1,1	3,0	13,5	80,9

Najwięcej szkód w TPN powstało w drzewostanach z panującym w składzie świerkiem. Zajmują one 94,7% ogólnej powierzchni uszkodzonych drzewostanów i obejmują 90,9% miąższości uszkodzonych drzew. W niewielkim stopniu uszkodzone zostały również jędrliny (2,6% powierzchni i 1,1% miąższości) oraz buczyny (2,0% powierzchni i 7,5% miąższości).

Szkody w lasach TPN powstałe w wyniku huraganu w grudniu 2013 roku koncentrowały się głównie w drzewostanach na siedliskach lasu górskiego (LG – 48,6%) oraz lasu mieszanego górskiego (LMG – 35,2%). W wyniku wiatru uszkodzone zostały przede wszystkim drzewostany położone w strefie wysokości 900-1050 m n.p.m., w której znajduje się 77,2% uszkodzonych drzewostanów. Najwięcej szkód przypada na drzewostany położone na wysokości od 950 do 1000 m n.p.m. (52,5%) oraz na stokach o ekspozycjach północnych: NW, N i NE (60,2%) (ryc. 1 i 2). Uszkodzane były drzewostany położone na stokach o niewielkim nachyleniu (do 14°), gdzie znajdowało się 82% wszystkich uszkodzonych drzewostanów.

Przeprowadzone analizy porównawcze wykazały wysoką zgodność opracowanych różnych wariantów modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanów ze szkodami powstałymi od wiatru. W szczególności wysoką zgodnością odznaczają się warianty  $W_{R4}$  i  $W_{R5}$ . Według wariantu  $W_{R4}$  drzewostany uszkodzone posiadały bowiem najczęściej 5 (23,9%) lub 6 (71,7%) klasę ryzyka uszkodzenia. Z kolei według wariantu modelu  $W_{R5}$  aż 92,4% uszkodzonych drzewostanów posiadało 6 klasę ryzyka uszkodzenia. Podobne relacje wystąpiły przy analizie rozmieszczenia miąższości uszkodzonych drzew w drzewostanach. Według wariantu  $W_{R4}$  największa miąższość wiatrołomów i wiatrowałów koncentrowała się w drzewostanach zaliczanych do klasy 5 (31,39%) lub 6 (66,5%)

Tabela 2.

Liczba (N) i udział (%N), powierzchnia (A [ha]) i udział powierzchniowy (%A) oraz miąższość (V [m<sup>3</sup>]) i udział miąższościowy (%V) uszkodzonych drzewostanów Tatrzańskiego Parku Narodowego w klasach ryzyka (1-6) według wariantów modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr (W<sub>R</sub>)

Number (N) and share (%N), area (A [ha]) and aerial share (%A) as well as volume (V [m<sup>3</sup>]) and volume share (%V) of the damaged Tatra National Park stands in risk classes (1-6) with respect to the variants of wind damage risk model (W<sub>R</sub>)

		1	2	3	4	5	6
W <sub>R1</sub>	N	0	4	2	50	228	224
	%N	0,0	0,8	0,4	9,8	44,9	44,1
	A	0	21,33	6,04	221,16	1469,76	1340,11
	%A	0,0	0,7	0,2	7,2	48,1	43,8
	V	0	240	20	3372,6	55545,07	46127,53
	%V	0,0	0,2	0,0	3,2	52,7	43,8
W <sub>R2</sub>	N	0	4	2	41	207	254
	%N	0,0	0,8	0,4	8,1	40,7	50,0
	A	0	21,33	6,04	190,05	1345,76	1495,22
	%A	0,0	0,7	0,2	6,2	44,0	48,9
	V	0	240	20	2641,82	46653,23	55750,15
	%V	0,0	0,2	0,0	2,5	44,3	52,9
W <sub>R3</sub>	N	0	3	3	32	166	304
	%N	0,0	0,6	0,6	6,3	32,7	59,8
	A	0	40	14,54	128,81	457,63	1213,52
	%A	0,0	2,2	0,8	6,9	24,7	65,4
	V	0	190	70	2194,39	37860,95	64989,86
	%V	0,0	0,2	0,1	2,1	36,0	61,7
W <sub>R4</sub>	N	0	3	3	28	126	348
	%N	0,0	0,6	0,6	5,5	24,8	68,5
	A	0	10,46	16,91	108,9	729,83	2192,3
	%A	0,0	0,3	0,6	3,6	23,9	71,7
	V	0	190	70	2023,54	32969,96	70051,7
	%V	0,0	0,2	0,1	1,9	31,3	66,5
W <sub>R5</sub>	N	0	0	2	10	35	461
	%N	0,0	0,0	0,4	2,0	6,9	90,7
	A	0	0	6,04	30,08	196,82	2825,46
	%A	0,0	0,0	0,2	1,0	6,4	92,4
	V	0	0	20	736,06	3201,71	101347,43
	%V	0,0	0,0	0,0	0,7	3,0	96,2

klasy ryzyka uszkodzenia, natomiast według wariantu W<sub>R5</sub> aż 96,2% miąższości wiatrowałów i wiatrolomów powstało w drzewostanach zaliczonych do 6 klasy ryzyka.

## Dyskusja

Na obszarach leśnych objętych różnymi formami ochrony, niebędących pod wpływem gospodarczej działalności człowieka, proces szkód od wiatru jest zjawiskiem powszechnym i należy do ważniejszych elementów dynamiki ekosystemów leśnych. W drzewostanach, w których jest brak możliwości wykonywania działań ochronnych oraz w następstwie czynników biotycznych, przede wszystkim gradacji szkodliwych owadów, prowadzi on często do powstania rozległych wiatrowałów.

Tabela 3.

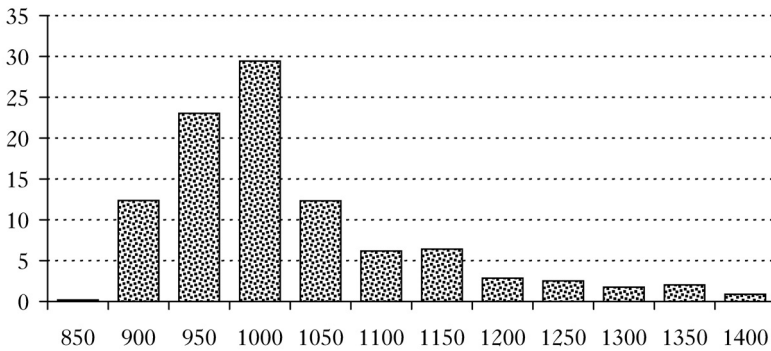
Udział [%] powierzchni drzewostanów Tatrzańskiego Parku Narodowego w klasach wskaźnika Shannona-Wienera (S-W) według klas ryzyka (1-6) dla różnych wariantów modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr ( $W_R$ )

Share [%] of area of the Tatra National Park stands within Shannon-Wiener index classes (S-W) in risk classes (1-6) with regard to the variants of wind damage risk model for stands ( $W_R$ )

	S-W	1	2	3	4	5	6	$\Sigma$
$W_{R1}$	1	0,12	0,05	0,11	0,74	6,95	4,89	12,87
	2	5,64	0,18	0,63	2,23	16,10	12,93	37,70
	3	8,89	1,06	1,43	5,48	10,64	11,80	39,29
	4	1,43	0,98	1,18	1,60	2,23	0,67	8,08
	5	0,02	0,60	0,59	0,59	0,24	0,01	2,05
	$\Sigma$	16,10	2,86	3,94	10,64	36,17	30,29	100,00
$W_{R2}$	1	0,10	0,08	0,07	0,66	5,76	6,20	12,87
	2	5,64	0,14	0,67	1,80	13,51	15,95	37,70
	3	8,30	1,53	1,35	4,55	9,65	13,91	39,29
	4	0,31	2,11	0,85	1,82	2,15	0,84	8,08
	5	0,02	0,52	0,67	0,59	0,18	0,07	2,05
	$\Sigma$	14,36	4,38	3,60	9,43	31,26	36,98	100,00
$W_{R3}$	1	0,10	0,07	0,07	0,62	3,82	8,20	12,87
	2	4,81	0,96	0,62	1,49	10,41	19,41	37,70
	3	7,73	2,02	1,30	3,97	8,76	15,51	39,29
	4	0,25	2,06	0,84	1,76	1,95	1,22	8,08
	5	0,00	0,54	0,63	0,37	0,44	0,07	2,05
	$\Sigma$	12,88	5,65	3,47	8,21	25,38	44,41	100,00
$W_{R4}$	1	0,10	0,07	0,07	0,61	2,19	9,84	12,87
	2	4,81	0,96	0,62	1,25	9,75	20,31	37,70
	3	7,73	2,02	1,16	3,98	8,35	16,04	39,29
	4	0,25	2,06	0,79	1,78	1,98	1,24	8,08
	5	0,00	0,54	0,63	0,37	0,44	0,07	2,05
	$\Sigma$	12,88	5,65	3,27	7,99	22,71	47,50	100,00
$W_{R5}$	1	0,00	0,02	0,06	0,36	1,08	11,35	12,87
	2	0,50	0,52	0,14	0,68	5,07	30,79	37,70
	3	0,10	0,40	0,38	1,55	6,32	30,54	39,29
	4	0,00	0,04	0,16	0,34	0,65	6,89	8,08
	5	0,00	0,00	0,35	0,04	0,36	1,30	2,05
	$\Sigma$	0,60	0,99	1,10	2,97	13,48	80,86	100,00

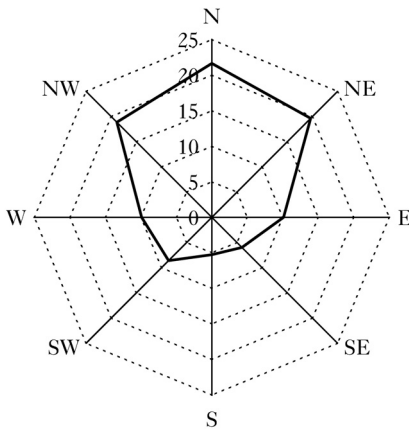
W Tatrzańskim Parku Narodowym szkody w drzewostanach wywołane przez wiatr nasiliły się szczególnie w ostatnim 50-leciu [Koreń 2005; Grodzki, Guzik 2009]. Spośród największych klęsk, które wystąpiły po polskiej stronie Tatr, należy wymienić przede wszystkim wiatrolomy powstałe w 1968 roku wskutek wiatru halnego (szacowane na 147,7 tys. m<sup>3</sup>), w roku 2002 (uszkodzone drzewa stanowiły 45 tys. m<sup>3</sup>) [Bzowski, Dziewolski 1973; Jewuła 1974; Grodzki, Guzik 2009] oraz szkody od wiatru halnego powstałe w grudniu 2013 roku (153 tys. m<sup>3</sup>).

Według Grodzkiego i Guzika [2009] szczególną predyspozycją na szkody w ostatnim 100-leciu odznaczała się przede wszystkim wschodnia część Parku. Powtarzające się wywroty i złomy występowały natomiast rzadziej w części centralnej i zachodniej TPN. Tymczasem w roku 2013 największe spustoszenie w drzewostanach wyrządził wiatr halny w trzech najdalej wysuniętych na zachód dolinach polskich Tatr: Kościeliskiej, Lejowej i Chochołowskiej, gdzie łączna miąższość uszkodzonych drzew przekroczyła 100 tys. m<sup>3</sup> grubizny.



Ryc. 1.

Udział [%] powierzchni drzewostanów uszkodzonych w strefach wysokości nad poziomem morza  
Share [%] of the area of the damaged stands in the altitude intervals



Ryc. 2.

Udział [%] powierzchni drzewostanów uszkodzonych z uwzględnieniem ekspozycji terenu  
Share [%] of the area of the damaged stands with regard to slope exposure

Szkody koncentrowały się głównie w drzewostanach bardzo zagrożonych. Rozkład powierzchni drzewostanów uszkodzonych w 6 klasie ryzyka kształtował się w zależności od wariantu modelu od 43,8 ( $W_{R1}$ ) do ponad 92,4% ( $W_{R5}$ ). Dane te wskazują jednocześnie na wysoki stopień zagrożenia drzewostanów tatrzańskich na tle innych lasów w kraju [Bruchwald, Dmyterko 2012; Dmyterko i in. 2015].

Analiza przestrzennego rozkładu szkód powodowanych przez wiatry w Tatrach wskazuje na bardzo silne ich powiązanie z położeniem drzewostanów, tj. wysokością nad poziomem morza, ekspozycją stoków, a także ich nachyleniem. Największe szkody powstały w drzewostanach położonych na wysokości od 950 do 1000 m n.p.m. (52,5%) oraz o ekspozycjach północnych: NW, N i NE (60,2%). Rozmiar uszkodzeń był ponadto większy na stokach o niewielkim nachyleniu (do 14°) – stanowiły one 82% wszystkich uszkodzonych drzewostanów. Tymczasem według założeń modelu [Bruchwald, Dmyterko 2013] za najbardziej zagrożone uznaje się drzewostany położone powyżej 800 m n.p.m., na stokach o ekspozycjach zachodnich (W, NW, SW) i nachyleniu powyżej 27°. Ponadto długoterminowe obserwacje przeprowadzone w latach 1962-2007 wskazują, że szczególną predyspozycją na działanie wiatru w rejonie Tatrzańskiego Parku Narodowego charakteryzują się drzewostany w reglu dolnym we wschodniej części Parku, rzadziej natomiast miały miejsce powtarzające się wywroty i złomy w części centralnej i zachodniej [Grodzki, Guzik 2009].



Model ryzyka uszkodzenia potwierdza powszechną opinię o małej odporności na wiatry drzewostanów o uproszczonej budowie gatunkowej i piętrowej [Sienkiewicz, Klos 2001]. W Tatrzańskim Parku Narodowym według modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanów najbardziej narażone na szkody są drzewostany o niskiej różnorodności (1 i 2 klasa wskaźnika Shannona-Wienera). W klasach ryzyka 5 i 6 drzewostany te stanowią, w zależności od wariantu modelu, od 40,87% ( $W_{R1}$ ) do 48,29% ( $W_{R5}$ ). To właśnie w tych drzewostanach o niskiej różnorodności powstały największe (około 98%) szkody w wyniku huraganu w roku 2013.

Położenie w rejonach górskich oraz wysoka koncentracja drzewostanów świerkowych sprawiają, iż większość drzewostanów w Tatrach odznacza się szczególną predyspozycją do szkód od wiatrów [Grodzki i in. 2006]. W każdym kolejnym wariantcie modelu udział powierzchni takich drzewostanów kształtuje się od 30,3% ( $W_{R1}$ ) do prawie 81% ( $W_{R5}$ ). Oznacza to, że w wariantcie  $W_{R5}$  modelu ryzyka uszkodzenia, a więc uwzględniającym warunki położenia drzewostanów, wskaźnik traci tzw. diagnostyczność, ponieważ nie pozwala różnicować drzewostanów pod względem stopnia zagrożenia. W takiej sytuacji model może nie dostarczyć wyczerpującej informacji, np. w zakresie oceny pilności działań ochronnych lub restytucyjnych w drzewostanach.

## Wnioski

- ✦ W obiektach o niskiej różnorodności gatunkowej i niekorzystnych cechach położenia sprzyjających powstawaniu szkód należy do planowania gospodarczego wybrać wariant modelu ryzyka uszkodzenia o największej „diagnostyczności”. Pozwoli to nie tylko na ocenę stopnia zagrożenia uszkodzenia drzewostanów przez wiatr, ale również na wypracowanie rozłożonych w czasie odpowiednich sposobów postępowania gospodarczego i ochronnego w zależności od klasy ryzyka.
- ✦ Modele ryzyka uszkodzenia pozwalają na formułowanie wniosków dotyczących zarówno planowania lokalnego (hodowlanego), jak i regionalnego (strategicznego). Istotne jest jednak, aby w tego typu analizach zostały wykorzystane odpowiednie miary (warianty modelu) właściwe dla określonego poziomu planowania. Dzięki temu możliwe staje się relatywne ujmowanie stopnia ich zagrożenia przez wiatr, pozwalające jednocześnie na ocenę pilności działań restytucyjnych w planowaniu działań ochronnych

## Literatura

- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010. Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Leśn. Pr. Bad. 71 (2): 165-173.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2011. Zastosowanie modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr do oceny zagrożenia lasów nadleśnictwa. Sylwan 155 (7): 459-471.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2012. Ryzyko powstawania szkód w drzewostanach poszczególnych nadleśnictw Polski. Sylwan 156 (1): 19-27.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2013. Model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr z uwzględnieniem cech rzeźby terenu. W: Okła K. [red]. Geomatyka Lasów Państwowych – Poradnik praktyczny. CILP, Warszawa. 268-288.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2014. Nowy wariant modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Sylwan 158 (8): 571-578.
- Bzowski M., Dziewolski J. 1973. Zniszczenia w lasach Tatrzańkiego Parku Narodowego spowodowane przez wiatr halny wiosną 1968 r. Ochr. Przyr. 38: 115-154.
- Dmyterko E., Mionskowski M., Bruchwald A. 2015. Zagrożenie lasów Polski na podstawie modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Sylwan 159 (5): 361-371.
- Duelli P., Obrist M. K. 2003. Biodiversity indicators: the choice of values and measures. Agriculture, Ecosystems & Environment 98 (1-3): 87-98.
- Grodzki W., Guzik M. 2009. Wiatro- i śniegolomy oraz gradacje kornika drukarza w Tatrzańskim Parku Narodowym na przestrzeni ostatnich 100 lat. Próba charakterystyki przestrzennej. Konferencja „Długookresowe zmiany w przyrodzie i użytkowaniu obszaru TPN”, Zakopane. 33-46.

- Grodzki W., Starzyk J. R., Kosibowicz M. 2006. Wiatrolomy i owady kambiofagiczne a problemy ochrony drzewostanów świerkowych w Tatrzańskim Parku Narodowym. W: Godzik B., Mirek Z. [red.]. Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek. Tom II – Nauki biologiczne, TPN – PTPNoZ, Zakopane – Kraków. 115-124.
- Jaszczak R., Miotke M. 2011. Zagrożenia polskich lasów i sposoby im przeciwdziałania w XIX wieku. Sylwan 155 (5): 340-349.
- Jewuła E. 1974. Rejonizacja szkód powodowanych przez wiatry w drzewostanach górskich i podgórskich południowej Polski. Sylwan 118 (10): 54-63.
- Koreň M. 2005. Kalamita v lesoch TANAP-u – príčiny, následky, východiská. W: Kunca A. [red.]. Aktuálne problémy v ochrane lesa. Lesnícky výskumný ústav Zvolen. 46-55.
- Mikułowski M. 2002. Problemy zagospodarowania lasu na terenie kłęski wiatrowej z lipca 2002 r. w północno-wschodniej Polsce. Prace IBL A 937-943: 129-132.
- Peltola H., Kellomaki 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.
- Przybylska K. 1999. Waloryzacyjny system oceny lasów górskich dla potrzeb planowania urzędniowego. Sylwan 143 (5): 17-23.
- Ruel J. C., Pin D., Cooper K. 1998. Effect of topography on wind behaviour in a complex terrain. Forestry 71: 261-265.
- Sienkiewicz J. 2010. Koncepcje bioróżnorodności – ich wymiary i miary w świetle literatury. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 45: 7-29.
- Sienkiewicz J., Klos M. 2001. Wskaźnikowa rola roślinności leśnej w diagnozie stanu siedlisk. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Sobik M., Błaś M., Quiel F. 1998. Udział osadów mgielnych w przychodzie wody z atmosfery i depozycji zanieczyszczeń w lasach Sudetów Zachodnich. W: Sarosiek J., Štursa J. [red.]. Geoekologiczne Problemy Karkonoszy. Materiały z sesji naukowej w Przesieciu 15-18.X.1997. Wydawnictwo Acarus, Poznań. 151-162.
- Troll M. 1995. Degradacja lasów masywu Skrzycznego (Beskid Śląski) i jej związek z orografią terenu. Sylwan 139 (7): 87-91.
- Zajęzkowski J. 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wydawnictwo Świat, Warszawa.