

ELŻBIETA DMYTERKO, MARCIN MIONSKOWSKI, ARKADIUSZ BRUCHWALD

Zagrożenie lasów Polski na podstawie modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr*

Risk of the wind damage to the forests in Poland on the basis of a stand damage risk model

ABSTRACT

Dmyterko E., Mionskowski M., Bruchwald A. 2015. Zagrożenie lasów Polski na podstawie modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Sylwan 159 (5): 361-371.

On the basis of the wind damage risk model for forests using the data of the State Forests Information System, the stand damage risk factor W_r for each of the 430 forest districts in Poland and the threat measure M_s for a given forest district were determined. The measure of threat to forest M_s for a forest district is a methodical basis for assessing the potential damage to forests in Poland. Its value ranges from 8.1% for the Brzózka Forest District to 48.9% for the Ujsoły Forest District (fig. 1), giving the average value of 24.6% and standard deviation of 7.03%. The measure M_s was the basis for differentiating the levels of threat of wind damage to forest for forest districts. Level 1 ($M_s \leq 10\%$) indicates low threat, level 2 ($10\% < M_s \leq 20\%$) – elevated threat, level 3 ($20\% < M_s \leq 30\%$) – moderate threat, level 4 ($30\% < M_s \leq 40\%$) – high threat, level 5 ($M_s > 40\%$) – very high threat. Low threat to forests was found only in two forest districts located in the western part of the country. 113 forest districts, which form large concentrations particularly in western and central Poland, are exposed to an elevated threat. Most forest districts (233) are classified to a group of moderate threat. They are located across the country and are mostly concentrated in the northern and southern regions of Poland. 71 forest districts exposed to high threat are concentrated in the south of Poland in the Carpathians and the Sudetes, with scattered presence in the north of the country. Most of the 11 forest districts with a very high threat to forests are located in the mountains (tab., fig. 1). For the forest districts with a particularly high and very high threat, new silvicultural procedures and the basis for decision making in the field of forest management should be developed to reduce the risk of damage to forest.

KEY WORDS

wind damage, stand damage risk model, Poland

ADDRESSES

Elżbieta Dmyterko – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl
 Marcin Mionskowski – e-mail: M.Mionskowski@ibles.waw.pl
 Arkadiusz Bruchwald – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl

Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 09-050 Raszyn

*Pracę zrealizowano w ramach tematu „Opracowanie symulacji zagrożeń od czynników abiotycznych ekosystemów leśnych” zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

Wstęp

W bieżącym stuleciu silne wiatry wyrządziły w lasach Polski szkody ocenione miąższością pozyskanych złomów i wywrotów na około 25 mln m³. W 2002 roku huragan zniszczył drzewostany Puszczy Piskiej, Kurpiowskiej i Boreckiej [Mikułowski 2002; Bruchwald, Dmyterko 2012a; Gurowski 2012] na pasie o długości około 130 km i szerokości 10-12 km. Szkody w lasach wystąpiły na powierzchni 33 tys. ha, a całkowitemu zniszczeniu uległo 6 tys. ha [Gurowski 2012]. Największe szkody stwierdzono w drzewostanach nadleśnictw: Pisz, Drygały, Borki, Nowogród, Giżycko i Czerwony Dwór, w których pozyskano około 2,7 mln m³ miąższości złomów, wywrotów i posuszu. W listopadzie 2004 roku wiatr wyrządził szkody w lasach regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach i w Krakowie, ocenione pozyskaną miąższością surowca drzewnego na ponad 1,5 mln m³. Największe szkody na terenach nizinnych odnotowano w nadleśnictwach Kobiór, Lubliniec i Chrzanów, a na terenach górskich w nadleśnictwach Ujsoły, Węgierska Górka, Jeleśnia, Myślenice i Nowy Targ. Na Mazurach w lipcu 2006 roku miał miejsce huragan „Biały Szkwał”. Spowodował on poważne szkody w drzewostanach nadleśnictw Maskulińskie i Strzałowo, a wysokość szkód oszacowano na około 120 tys. m³ miąższości złomów i wywrotów. W styczniu 2007 roku do Polski dotarł międzykontynentalny huragan „Cyryl”, powodując szkody w drzewostanach regionalnych dyrekcji we Wrocławiu, Katowicach i Zielonej Górze, oszacowane miąższością złomów i wywrotów na około 2,5 mln m³ [Filipek 2008; Grabowski 2008]. Największe szkody stwierdzono w Nadleśnictwie Kamienna Góra. W 2008 roku szkody te zostały powiększone przez kolejne huragany „Emma” i „Paula” do około 300 tys. m³. W sierpniu 2007 roku huragan wyrządził poważne szkody w nadleśnictwach Przedbórz i Piotrków (RDLP w Łodzi) [Janusz 2008]. Miąższość pozyskanego pokłękowego surowca drzewnego przekroczyła w Nadleśnictwie Piotrków 80 tys. m³, a w Nadleśnictwie Przedbórz 310 tys. m³, gdzie całkowitemu zniszczeniu uległo 50% powierzchni drzewostanów Obrębu Reczków. W lipcu 2009 roku huragan dokonał dużych zniszczeń w lasach kilku nadleśnictw regionalnych dyrekcji LP w Poznaniu i we Wrocławiu. Łączne szkody oceniono na około 1,3 mln m³ miąższości drewna pokłękowego, największe stwierdzono w nadleśnictwach Wołów (460 tys. m³) i Legnica (320 tys. m³). Uwagę zwraca Nadleśnictwo Legnica, gdzie również dwa lata wcześniej wystąpił huragan, a łączne szkody wywołane przez wiatr w latach 2007 i 2009 wyniosły 341 tys. m³ pozyskanego surowca drzewnego. Po huraganie z września 2011 roku w RDLP w Szczecinie pozyskano złomy, wywroty i posusz o miąższości około 441 tys. m³. Największe szkody odnotowano w nadleśnictwach Barlinek, Bogdaniec, Kłodawa i Osno.

Szkody w lasach powodują również trąby powietrzne. W ostatniej dekadzie największa z nich wystąpiła w 2008 roku w RDLP w Katowicach i objęła swym zasięgiem obszar o długości około 100 km i szerokości do 2 km. Zaczęła się na terenie Nadleśnictwa Kędzierzyn, następnie przeszła przez lasy nadleśnictw Strzelce Opolskie, Rudziniec, Koszęcin i Herby, a zakończyła się w Nadleśnictwie Gidle. Największe szkody stwierdzono w drzewostanach nadleśnictw Koszęcin (600 ha, 120 tys. m³) i Herby (400 ha, 85 tys. m³). Trąby powietrzne wyrządziły również szkody w lasach w 2010 roku w nadleśnictwach Starogard Gdański (85 tys. m³) i Celestynów (10 tys. m³), w 2011 roku w nadleśnictwach Ostrów Mazowiecka (85 tys. m³) i Łochów (30 tys. m³), a w 2012 roku w nadleśnictwach Trzebciny (100 tys. m³) i Lubichowo (30 tys. m³). Duże szkody w lasach wywołane obfitymi opadami mokrego śniegu powstały w listopadzie 2006 roku w kilkunastu nadleśnictwach RDLP w Olsztynie. Największe szkody stwierdzono w nadleśnictwach Miłomłyn (480 tys. m³), Kudypy (240 tys. m³), Stare Jabłonki (185 tys. m³) i Susz (140 tys. m³) [Karetko 2008].

Dla lasów Polski opracowano model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr [Bruchwald, Dmyterko 2010, 2012b, 2013]. Na jego podstawie określa się współczynnik ryzyka uszkodzenia drzewostanu, który przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 3. Model ryzyka uwzględnia 11 cech: wysokość, wiek i smukłość głównego gatunku drzewa drzewostanu, skład gatunkowy drzewostanu, czynnik zadrzewienia (dla upraw i młodników stopień zagęszczenia drzew), typ siedliskowy lasu, współczynnik regionalnego ryzyka uszkodzenia drzewostanów [Bruchwald, Dmyterko 2012a], miąższość pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu w ostatnich 10 latach oraz cechy rzeźby terenu dotyczące drzewostanu: wysokość n.p.m., nachylenie stoku i wystawę [Bruchwald, Dmyterko 2013].

Celem pracy jest ocena zagrożenia lasów Polski przez wiatr, z wykorzystaniem modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez ten czynnik abiotyczny. Model określa stan drzewostanu i jego podatność na szkody, które może spowodować wiatr, a także uwzględnia prawdopodobieństwo powstania szkód, wywołanych silnym wiatrem w różnych regionach kraju.

Materiał i metody

Do oceny zagrożenia drzewostanów przez wiatr wykorzystano materiał empiryczny pochodzący ze wszystkich nadleśnictw Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe (PGL LP). Dane dotyczące 430 nadleśnictw wchodzących w skład 17 regionalnych dyrekcji PGL LP uzyskano z Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) i obejmowały one: cechy taksacyjne każdego wydzielenia drzewostanowego (2012 rok), miąższość surowca drzewnego zaliczonego do złomów, wywrotów i posuszu pozyskanego w latach 2004-2011 oraz mapy numeryczne nadleśnictw, w tym materiały pozwalające określić cechy rzeźby terenu.

Dla wszystkich drzewostanów każdego nadleśnictwa obliczono modelem ryzyka współczynnik ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr W_r . Na jego podstawie zaliczono każdy drzewostan do jednej z 6 klas tego współczynnika, o jednakowej szerokości, wynoszącej 0,5. Pozwoliło to na obliczenie powierzchni drzewostanów zaliczonych do określonej klasy oraz jej udziału w stosunku do całkowitej powierzchni drzewostanów nadleśnictwa. Biorąc pod uwagę udział 5 i 6 klasy współczynnika ryzyka, obliczono miernik zagrożenia lasu nadleśnictwa (M_s) według wzoru:

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

gdzie:

p_5 – powierzchniowy udział [%] drzewostanów nadleśnictwa w 5 klasie współczynnika ryzyka W_r ,

p_6 – powierzchniowy udział [%] drzewostanów nadleśnictwa w 6 klasie współczynnika ryzyka W_r .

Ze wzoru wynika, że wyższej wartości miernika M_s odpowiada większe zagrożenie lasów nadleśnictwa przez wiatr. Miernik stanowił podstawę wyróżnienia stopni zagrożenia nadleśnictw przez wiatr:

- stopień 1 – $M_s \leq 10\%$ – zagrożenie niskie,
- stopień 2 – $10\% < M_s \leq 20\%$ – zagrożenie podwyższone,
- stopień 3 – $20\% < M_s \leq 30\%$ – zagrożenie średnie,
- stopień 4 – $30\% < M_s \leq 40\%$ – zagrożenie wysokie,
- stopień 5 – $M_s > 40\%$ – zagrożenie bardzo wysokie.

Wyniki

Zakres wahań miernika zagrożenia lasu nadleśnictwa M_s w Polsce wynosi od 8,1 (Nadleśnictwo Brzózka, RDLP w Zielonej Górze) do 48,9% (Nadleśnictwo Ujsoły, RDLP w Katowicach). Średnia arytmetyczna miernika jest równa 24,6%, a odchylenie standardowe 7,03%. Stwierdzono tylko 2 nadleśnictwa o niskim zagrożeniu lasu, położone są one w zachodniej części kraju (tab., ryc. 1). Nadleśnictw o zagrożeniu podwyższonym jest 113 i tworzą one duże skupiska, szczególnie w zachodniej i środkowej Polsce. Najwięcej nadleśnictw (233) zaliczono do grupy zagrożenia średniego. Występują one na obszarze całego kraju, a bardzo duże ich skupiska położone są w północnej i południowej Polsce. 71 nadleśnictw charakteryzuje się wysokim zagrożeniem lasu i koncentrują się one na południu kraju, w Karpatach i Sudetach, w sposób rozporoszony występują także na północy kraju. Z 11 nadleśnictw o bardzo wysokim zagrożeniu lasu najwięcej położonych jest w górach.

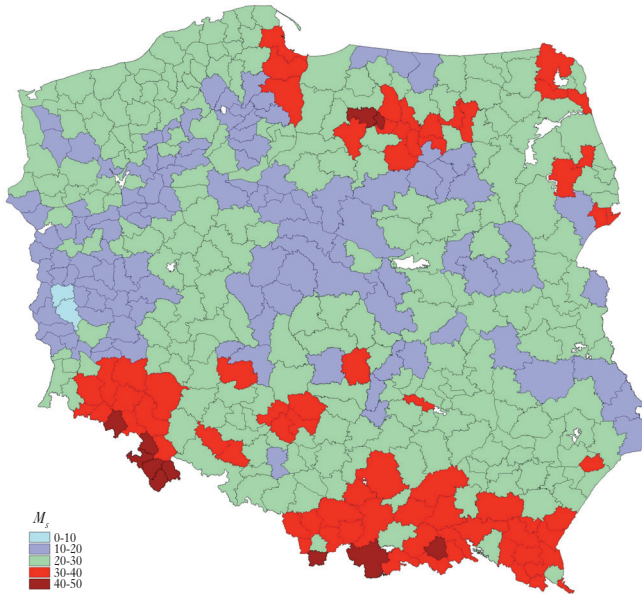
W Nadleśnictwie Brzózka dominują drzewostany o średnim współczynniku ryzyka uszkodzenia (kolor zielony) (ryc. 2a). W klasie 5 współczynnika ryzyka występuje tylko 20,0% powierzchni drzewostanu (kolor różowy), a w klasie 6 współczynnika – 0,1% powierzchni (kolor czerwony). Miernik zagrożenia lasu, jak podawano, jest bardzo niski (8,1%). Nadleśnictwo Przemków ($M_s=13,9\%$) charakteryzuje się zagrożeniem podwyższonym (ryc. 2b). Dominuje (35,5%) 4 klasa współczynnika ryzyka uszkodzenia drzewostanu (kolor ciemnozielony), wysoki (33,2%) jest również udział klasy 5 współczynnika, a drzewostany tej klasy skupione są w północnej części nadleśnictwa. Niewielkim udziałem (1,1%) charakteryzuje się klasa 6 współczynnika

Tabela.

Liczba nadleśnictw w klasach miernika zagrożenia lasu (M_s) według regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych

Number of forest districts in threat measure (M_s) classes by the Regional Directorate of the State Forests (RDLP)

RDLP	Średnia M_s Mean M_s	M_s					Razem Total
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	
Zielona Góra	13,8	2	17	1			20
Toruń	18,8		16	11			27
Piła	19,5		12	8			20
Szczecin	20,8		14	21			35
Poznań	21,0		10	14	1		25
Łódź	21,1		8	10	1		19
Warszawa	21,5		4	10			14
Lublin	23,1		6	19			25
Szczecinek	23,3		4	26			30
Radom	24,5		3	19	1		23
Olsztyn	25,5		9	12	10	2	33
Gdańsk	25,6		3	9	3		15
Katowice	28,2		1	24	12	1	38
Białystok	28,8		1	22	8		31
Wrocław	29,5		5	12	10	6	33
Krosno	31,5			12	14		26
Kraków	34,6			3	11	2	16
Razem Total	24,6	2	113	233	71	11	430



Ryc. 1.

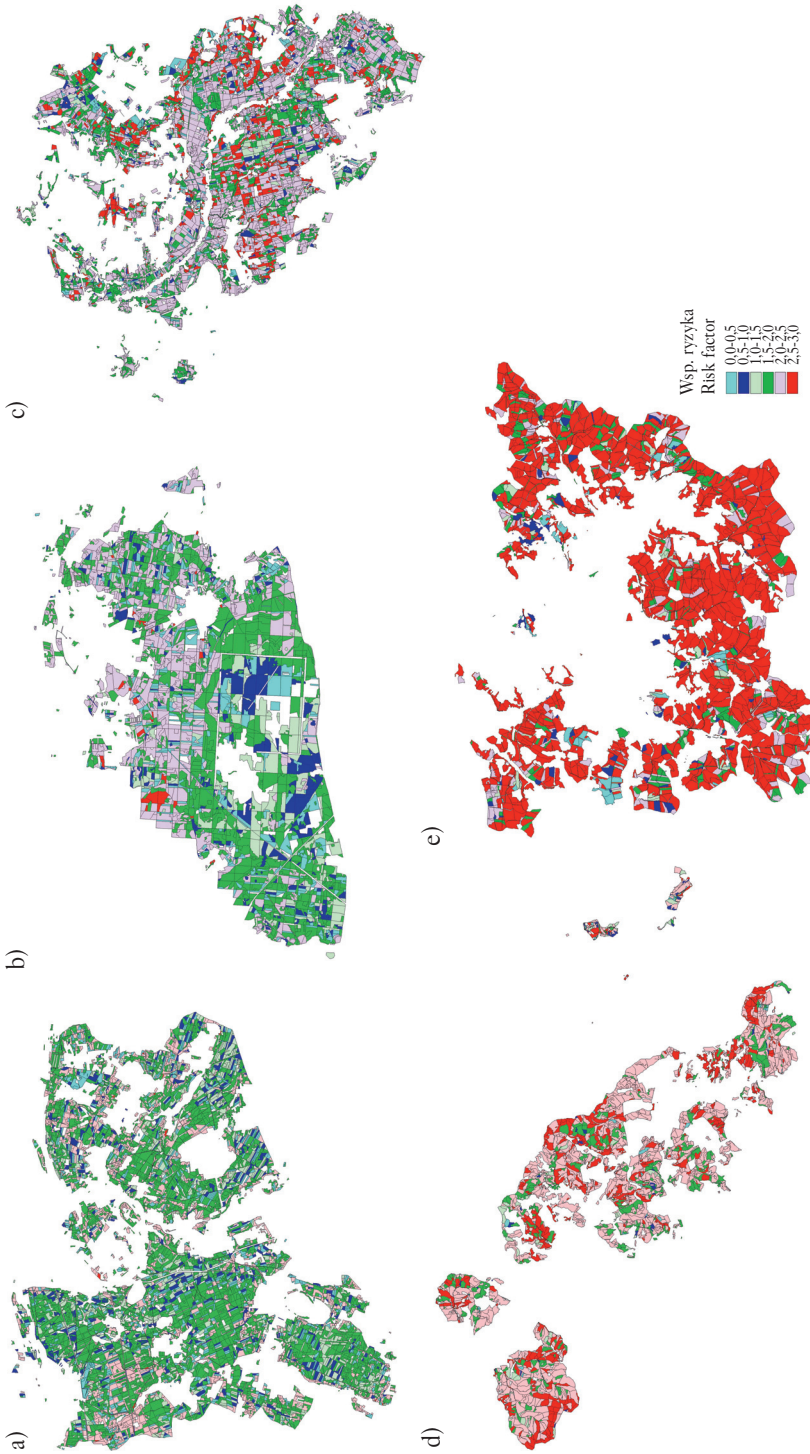
Miernik zagrożenia lasu (M_s) dla nadleśnictw
Measure of threat to forest (M_s) for forest districts

ryzyka. Nadleśnictwo Leśny Dwór ($M_s=28,7\%$) jest średnio zagrożone (ryc. 2c). Przeważa (48,2%) klasa 5 współczynnika ryzyka uszkodzenia drzewostanu, znaczący (15,6%) jest udział klasy 6, a drzewostany tej klasy rozproszone są po całej powierzchni nadleśnictwa. Do grupy o wysokim zagrożeniu lasów należy Nadleśnictwo Piwniczna ($M_s=39,8\%$) (ryc. 2d). Dominują (41,3%) drzewostany klasy 5 współczynnika ryzyka, wysoki (38,9%) jest również udział drzewostanów klasy 6, tworzących układ skupiskowy. Nadleśnictwo Ujsoły ($M_s=48,9\%$) charakteryzuje się zagrożeniem bardzo wysokim (ryc. 2e). Przeważają (74,7%) drzewostany najwyższej, 6 klasy współczynnika ryzyka uszkodzenia. Lasy tego nadleśnictwa należą do najbardziej zagrożonych w Polsce.

Biorąc pod uwagę wartości mierników zagrożenia lasu nadleśnictw w regionalnych dyrekcjach LP oraz ich położenie w kraju, utworzono 5 grup tych dyrekcji:

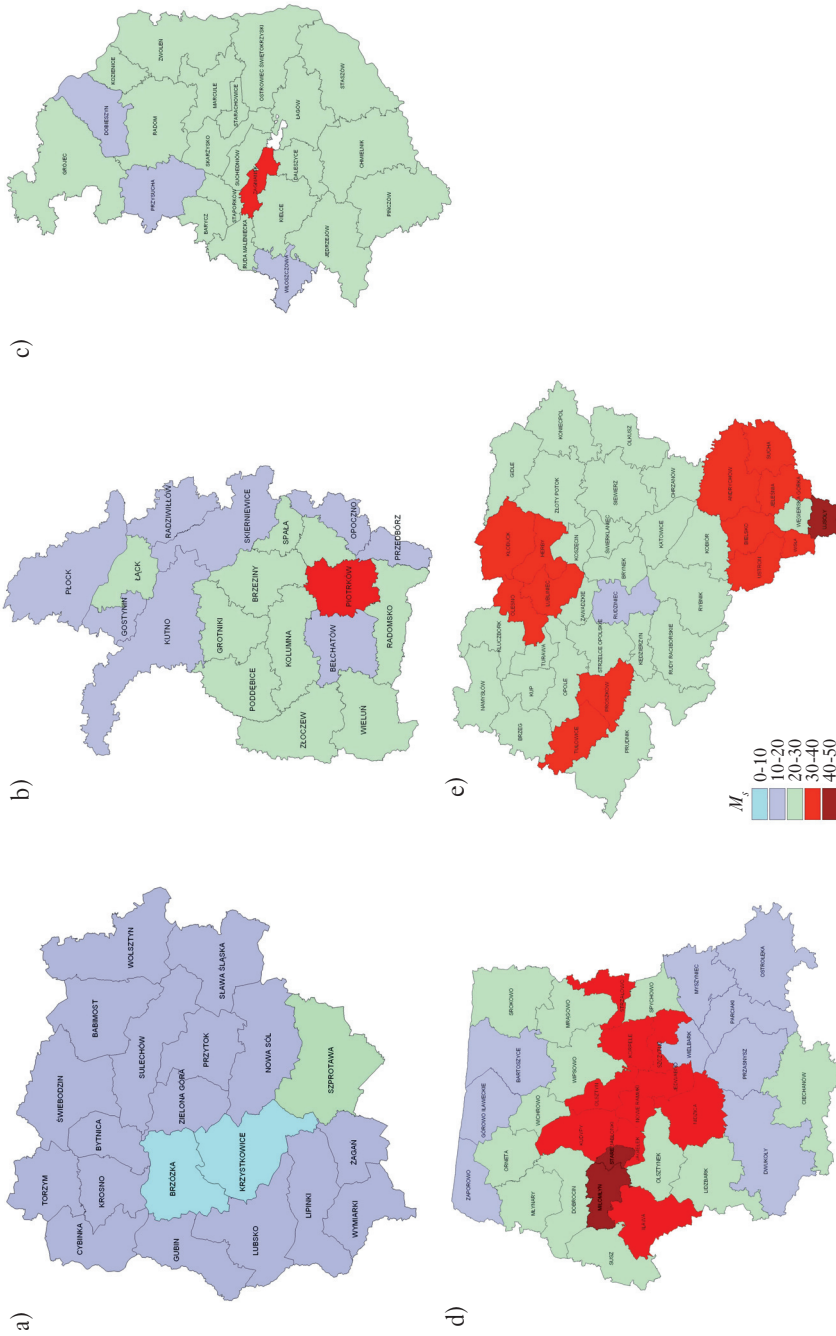
- grupa I – o niskim zagrożeniu lasu: RDLP w Zielonej Górze,
- grupa II – o podwyższonym zagrożeniu lasu: regionalne dyrekcje w Szczecinie, Szczecinku, Pile, Toruniu, Poznaniu, Warszawie i Łodzi,
- grupa III – o średnim zagrożeniu lasu: dyrekcje w Lublinie i Radomiu,
- grupa IV – o wysokim zagrożeniu lasu: dyrekcje w Gdańsku, Olsztynie i Białymstoku,
- grupa V – o bardzo wysokim zagrożeniu lasu: dyrekcje w Krośnie, Krakowie, Katowicach i we Wrocławiu.

Lasy nadleśnictw RDLP w Zielonej Górze należą do grupy o niskim zagrożeniu przez wiatr (ryc. 3a). Miernik M_s waha się od 8,1% dla Nadleśnictwa Brzózka do 20,6% dla Nadleśnictwa Szprotawa, a średnia miernika dla dyrekcji wynosi 13,8%. Grupa II o podwyższonym zagrożeniu lasu składa się z 7 regionalnych dyrekcji, dla których miernik zagrożenia dla nadleśnictwa waha się od 18,8 do 23,3%. Lasy najmniej zagrożone przez wiatr występują w Nadleśnictwie Grodziec, położonym w RDLP w Poznaniu ($M_s=10,7\%$), najbardziej zaś w Nadleśnictwie Piotrków, w RDLP w Łodzi ($M_s=30,8\%$) (ryc. 3b). Grupa III obejmuje 2 regionalne dyrekcje o średnim zagrożeniu lasu. Najmniej zagrożone lasy położone są w Nadleśnictwie Mirce w RDLP w Lublinie ($M_s=14,5\%$), najbardziej zaś w Nadleśnictwie Zagnańsk w RDLP w Radomiu ($M_s=33,2\%$)



Ryc. 2.

Współczynniki ryzyka uszkodzenia drzewostanu dla nadleśnictw o różnym mierniku zagrożenia lasu: a) Nadleśnictwo Brzózka ($M_r=8,1\%$), b) Nadleśnictwo Przemków ($M_r=13,9\%$), c) Nadleśnictwo Lesny Dwór ($M_r=28,7\%$), d) Nadleśnictwo Piwniczna ($M_r=37,9\%$) i c) Nadleśnictwo Ujsoły ($M_r=48,9\%$)
 Stand damage risk factors for forest districts with a different threat measure: a) Brzózka Forest District ($M_r=8,1\%$), b) Przemków Forest District ($M_r=13,9\%$), c) Lesny Dwór Forest District ($M_r=28,7\%$), d) Piwniczna Forest District ($M_r=37,9\%$) and e) Ujsoły Forest District ($M_r=48,9\%$)



Ryc. 3.

Miernik zagrożenia lasu dla RDLP w a) Zielonej Górze ($M_i = 13.8\%$), b) Łodzi ($M_i = 21.1\%$), c) Radomiu ($M_i = 24.5\%$), d) Olszynie ($M_i = 25.5\%$) i e) Katowicach ($M_i = 28.2\%$)
 Measure of threat to forest (M_i) for the Regional Directorates of the State Forests in a) Zielona Góra ($M_i = 13.8\%$), b) Łódź ($M_i = 21.1\%$), c) Radom ($M_i = 24.5\%$), d) Olsztyn ($M_i = 25.5\%$) and e) Katowice ($M_i = 28.2\%$)

(ryc. 3c). Grupa IV składa się z 3 regionalnych dyrekcji o wysokim zagrożeniu lasu, a najmniej i najbardziej zagrożone lasy występują w RDLP w Olsztynie. Miernik zagrożenia lasu jest niższy w Nadleśnictwie Ostrołęka ($M_s=13,9\%$), natomiast najwyższy w Nadleśnictwie Miłomłyn ($M_s=42,2\%$) (ryc. 3d). Grupa V obejmuje 4 regionalne dyrekcje o bardzo wysokim zagrożeniu lasu. Najmniej zagrożone lasy są w Nadleśnictwie Świątoszów w RDLP we Wrocławiu ($M_s=10,9\%$), najbardziej zaś w Nadleśnictwie Ujsoły w RDLP w Katowicach ($M_s=48,9\%$) (ryc. 3e). Przeciętnie niskie mierniki M_s dotyczą nadleśnictw, których lasy położone są na terenach nizinnych, a wysokie na terenach górskich.

Dyskusja

W badaniach nad wpływem różnych czynników na las – w tym wiatru – wyróżnić można dwa kierunki: 1) poznawanie odporności drzew na działanie określonego czynnika i 2) poznawanie zagrożenia drzewostanów przez różne czynniki szkodotwórcze. Pierwszy kierunek badań zainicjował w Polsce Zajączkowski [1991]. Jego śladem poszli inni badacze, co przyczyniło się do poznania odporności drzew na czynniki abiotyczne. Ważnym osiągnięciem tego kierunku badań było opracowanie modeli mechanicznej odporności drzew na wiatr.

Do najbardziej znanych należy model Peltoli i Kellomäkiego [1993], który oprócz pierścienia i wysokości drzewa uwzględnia szerokość, głębokość i masę systemu korzeniowego, masę korony i strzały oraz rodzaj gleby. W realizowanym przez Peltolę [1996] programie badawczym analizowano również wpływ prędkości wiatru i jego turbulencji na odporność drzew na brzegu drzewostanu, uwzględniając wysokość drzewostanu i jego zagęszczenie mierzone współczynnikiem LAI (ang. leaf area index – wskaźnik powierzchni listowia). W następnych latach model ten łączono z modelem przepływu powietrza [Talkkari i in. 2000; Zeng i in. 2004] czy modelami wzrostu [Zeng i in. 2007] i wykorzystywano do określania zagrożenia fińskich drzewostanów przez wiatr. Zastosowano go również w systemie modeli WINDA [Blennow, Sallnäs 2004], który określa prawdopodobieństwo wystąpienia szkód od wiatru w lasach Szwecji. Stosowanie takich narzędzi jest ograniczone właściwościami modeli przepływu powietrza, sprawdzającymi się jedynie w terenie o łagodnej rzeźbie. W bardziej zróżnicowanym terenie wykorzystać można model opracowany przez Mitchella i in. [2008], który uwzględnia wysokość n.p.m., wystawę i nachylenie stoku oraz wskaźnik pozycji topograficznej TOPEX, jednak skuteczność tego modelu nie została jeszcze potwierdzona poza obszarem, dla którego go opracowano (Kolumbia Brytyjska, wyspa Vancouver). Różne modele odporności drzewa opracowali Valinger i Fridman [1997] oraz Fridman i Valinger [1998]. W najbardziej złożonym uwzględniono pierśnicę drzewa, jego smukłość i miąższość oraz wysokość położenia n.p.m.

Ważnym osiągnięciem, uzyskanym w wyniku badań nad odpornością drzew na działanie wiatru, było wypracowanie sposobów postępowania hodowlanego zwiększających stabilność drzewostanów [Zajączkowski i in. 2004; Gil, Zachara 2006; Zachara 2006]. Wnioski dotyczyły m.in. początkowej więźby sadzenia i powiązanego z nią stopnia zagęszczenia drzew, rodzaju i nasilenia trzebieży, smukłości drzew oraz składu gatunkowego drzewostanu. W wyniku badań wyróżniono w Polsce 3 strefy zagrożenia lasu przez wiatr: strefę I – słabych zagrożeń, o największej powierzchni, obejmującą środkową część kraju; strefę II – średnich zagrożeń, zajmującą tereny północy i południa kraju oraz Góry Świętokrzyskie; strefę III – silnych zagrożeń, obejmującą wąski pas nadmorski oraz Sudety i Karpaty [Zajączkowski 1991].

Głównym osiągnięciem w ramach badań dotyczących oceny odporności drzewostanu na czynniki abiotyczne było zbudowanie modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Valinger i Fridman [1999] do modelu oceniającego prawdopodobieństwo uszkodzenia drzewo-

stanu przez wiatr wykorzystali regresję logistyczną i równania regresji wielokrotnej. Model, oprócz cech drzew, obejmował m.in. cechy drzewostanu (średnią pierśnicę i wysokość drzewostanu, liczbę drzew). Autorzy zastosowali ten model do oceny zagrożenia drzewostanów sosnowych Szwecji i wyróżnienia 3 stref zagrożenia: I strefy o zagrożeniu niskim, obejmującej północną część kraju, II strefy o zagrożeniu wysokim, występującej w środkowej części kraju i III strefy o zagrożeniu średnim, obejmującej południe Szwecji.

Ni Dhubhain i in. [2001], stosując również regresję logistyczną, opracowali model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr dla świerka sitkajskiego. Model uwzględnia cechy drzewostanu: wiek, wysokość górną, typ gleby, wykonaną trzebież lub jej brak. Jednym z parametrów modelu jest też położenie drzewostanu w jednej ze stref wietrznych, opracowanych przez Millera [1986] dla Wysp Brytyjskich.

Trudności metodyczne, a zwłaszcza potrzeba zebrania dużego materiału empirycznego, sprawiły, że drugi kierunek badań był w Polsce nielicznie reprezentowany. Wykorzystując głównie materiały uzyskane ze zdjęć satelitarnych, a także ze zdjęć lotniczych i pomiary w terenie, oceniono stopień zagrożenia sudeckich drzewostanów świerkowych w pasmach Gór Izerskich i Karkonoszy, Gór Sowich oraz Gór Stołowych [Zawiła-Niedźwiecki 1994]. Szkody wyrządzone przez huragan „Lothar”, który wystąpił w Borach Tucholskich w 1999 roku, były podstawą analizy odporności drzewostanów na wiatr tego regionu [Koziański, Nienartowicz 2006].

Realizacja obszernych programów badawczych z zakresu wpływu wiatru na szkody w drzewostanie stała się możliwa po wprowadzeniu w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe (PGL LP) systemu informatycznego (SILP), w którym gromadzone są dane na temat wszystkich gruntów w zarządzie PGL LP, w tym opis taksacyjny wydzieleń drzewostanowych oraz pozyskana w nich miąższość złomów, wywrotów i posuszu. Uzyskane z SILP dane pozwoliły na określenie wpływu poszczególnych cech drzewostanu na prawdopodobieństwo wystąpienia w nim szkód [Bruchwald, Dmyterko 2010]. Przestrzenna analiza uszkodzeń drzewostanów umożliwiła określenie dla nadleśnictw stopni (klas) zagrożenia i przyporządkowanie im współczynnika regionalnego ryzyka uszkodzenia drzewostanów [Bruchwald, Dmyterko 2011]. Stwierdzono, że drzewostany uszkodzone przez wiatr charakteryzują się większym ryzykiem powstania szkód, a więc są bardziej podatne na szkody wywołane przez kolejny wiatr. Wykazano słabe powiązanie prawdopodobieństwa uszkodzenia drzewostanu z wystawą i nachyleniem stoku, a dość silne z wysokością położenia n.p.m. Syntezą tego kierunku badań jest opracowany dla lasów zarządzanych przez PGL LP model ryzyka uszkodzenia drzewostanu [Bruchwald, Dmyterko 2013], a po uwzględnieniu stochastycznego modelu określania miąższości złomów, wywrotów i posuszu [Bruchwald, Dmyterko 2014a] nowy wariant modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu [Bruchwald, Dmyterko 2014b]. Ten wariant może być stosowany w lasach własności prywatnej, parków narodowych i gminnych. Tym samym Polskę można zaliczyć do krajów, które mają oryginalne osiągnięcia w poznawaniu wpływu różnych czynników na wielkość ryzyka powstawania w lesie szkód wywołanych przez wiatr.

Wnioski

- ✦ Model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr określa dla każdego drzewostanu współczynnik ryzyka uszkodzenia, służący do uzyskania miernika zagrożenia lasu nadleśnictwa. Cecha ta stanowi podstawę oceny zagrożenia lasów poszczególnych nadleśnictw przez wiatr i waha się w PGL LP od 8,1% w Nadleśnictwie Brzózka do 48,9% w Nadleśnictwie Ujsoły.
- ✦ Na podstawie miernika zagrożenia lasu wyróżniono 5 stopni zagrożenia lasów Polski: od niskiego do bardzo wysokiego. Stopniem wysokim i bardzo wysokim charakteryzują się 82 nadleśnictwa, w których w przypadku silnego wiatru należy oczekiwać wysokich szkód.

- ✦ Miernik zagrożenia lasu nadleśnictwa stanowi podstawę podziału regionalnych dyrekcji LP na stopnie zagrożenia. Najmniej zagrożone są lasy RDLP w Zielonej Górze, najbardziej zaś w regionalnych dyrekcjach LP obejmujących lasy górskie, a więc w Krośnie, Krakowie, Katowicach i we Wrocławiu, co obrazuje mapa zagrożeń lasów Polski.
- ✦ Należy opracować nowe zasady postępowania hodowlanego oraz podstawy podejmowania decyzji z zakresu zarządzania lasu prowadzące do obniżenia ryzyka wystąpienia szkód, szczególnie dla nadleśnictw o wysokim i bardzo wysokim mierniku zagrożenia lasu.

Literatura

- Blennow K., Sallnäs O. 2004. WINDA-a system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape. *Ecological Modelling* 175 (1): 87-99.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010. Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. *Leśne Prace Badawcze* 71 (2): 165-173.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2011. Zastosowanie modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr do oceny zagrożenia lasów nadleśnictwa. *Sylvan* 155 (7): 459-471.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2012a. Ryzyko powstawania szkód w drzewostanach poszczególnych nadleśnictw Polski. *Sylvan* 156 (1): 19-27.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2012b. Zagrożenie lasu przez wiatr na przykładzie nadleśnictw Puszczy Białowieskiej. *Sylvan* 156 (10): 750-764.
- 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. 2014a. Stochastyczny model określania miąższości złomów, wywrotów i posuszu. *Sylvan* 158 (4): 258-266.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2014b. Nowy wariant modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. *Sylvan* 158 (8): 571-578.
- 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. 5-13.
- Fridman J., Valinger E. 1998. Modeling probability of snow and wind damage using tree, stand, and site characteristics from *Pinus sylvestris* sample plots. *Scand. J. For. Res.* 13: 348-356.
- 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*. Wyd. Świat, Warszawa. 55-71.
- Gurowski K. 2012. Zagospodarowanie terenów leśnych zniszczonych huraganem w dniu 4 lipca 2002 r. W: *10 lat po huraganie w Puszczy Piskiej*. Białystok. 5-27.
- 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.
- Karetko J. 2008. Śniegołomy w lasach RDLP w Olsztynie z listopada 2006 r., ocena rozmiaru, koncepcja uprzątnięcia i zagospodarowania powierzchni pokłęskowych. W: *Kłęski żywiołowe w lasach zagrożeniem dla wielofunkcyjnej gospodarki leśnej*. SITLiD, Wyd. Świat, Warszawa. 17-28.
- Koziński G., Nienartowicz A. 2006. Spatial distribution and extent of damages by wind storms in tree stands of the Tuchola Forest. W: Kolk A. [red.]. *Insect outbreaks in managed and unmanaged forests*. Forest Research Institute, Warszawa. 89-105.
- Mikułowski M. 2002. Problemy zagospodarowania lasu na terenie kłęski wiatrowej z lipca 2002 r. w północno-wschodniej Polsce. *Prace Inst. Bad. Leśn.* A. 3 (937-943): 129-133.
- Miller K. F. 1986. Windthrow hazard in conifer plantations. *Irish Forestry* 43 (1): 66-78.
- Mitchell S., Lanquaye-Opoku N., Modzelewski H., Shen Y., Stull R., Jackson P., Murphy B., Ruel J.-C. 2008. Comparison of wind speeds obtained using numerical weather prediction models and topographic exposure indices for predicting windthrow in mountainous terrain. *For. Ecol. Manage.* 254 (2): 193-204.
- Ni Dhubhain 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. *For. Ecol. Manage.* 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.
- Valinger E., Fridman J. 1997. Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. *For. Ecol. Manage.* 97: 215-222.

- 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.
- Talkkari A., Peltola H., Kellomäki S., Strandman 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.
- Zachara T. 2006. Problem szkód w lasach powodowanych przez śnieg i wiatr oraz sposoby przeciwdziałania im. *Sylvan* 150 (10): 56-64.
- Zajączkowski J. 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wyd. 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. IBL, Warszawa.
- Zawiła-Niedźwiecki T. 1994. Ocena stanu lasu w ekosystemach zagrożonych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i systemu informacji przestrzennej. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii* XLI.
- Zeng H., Peltola H., Talkkari A., Venäläinen A., Strandman H., Kellomäki S., Wang K. 2004. Influence of clear-cutting on the risk of wind damage at forest edges. *For. Ecol. Manage.* 203 (1-3): 77-88.
- Zeng H., Pukkala T., Peltola H. 2007. The use of heuristic optimization in risk management of wind damage in forest planning. *For. Ecol. Manage.* 241 (1-3): 189-199.