

SILNE WIATRY JAKO PRZYCZYNA ZJAWISK KLĘSKOWYCH W LASACH

Longina Chojnacka-Oźga, Wojciech Oźga

Abstrakt. Ze zmianami klimatu, które szczególnie zaznaczyły się na przełomie XX i XXI w. wiążą się częstsze ekstremalne zjawiska pogodowe. Jednym ze zjawisk pogodowych, którego skutkom nie można zapobiec, jest silny wiatr. Większość wichur, które przeszły przez Polskę, wiązało się z ośrodkami niskiego ciśnienia. Występowanie dużych prędkości wiatru w chłodnej porze roku jest naturalną cechą klimatu Polski. Przyczyną silnych wiatrów latem mogą być fronty szkwałowe i trąby powietrzne. Ważnym zagadnieniem jest opracowanie odpowiedniej klasyfikacji prędkości wiatrów, które mogą mieć destrukcyjny wpływ na drzewostany. Współczesne badania wskazują, że porywiste wiatry przekraczające 11 m/s mogą spowodować pierwsze uszkodzenia drzew, a przekroczenie 30 m/s powoduje poważne uszkodzenia drzewostanów. Poznanie i monitorowanie mechanizmów prowadzących do silnych wiatrów, ocena ich wpływu na drzewostany i zarządzanie ryzykiem w kontekście ich skutków jest jednym z ważnych elementów strategii gospodarki leśnej.

11 sierpnia 2017 roku, po napływie gorącego powietrza zwrotnikowego z południa nad Polskę napłynęło znacznie chłodniejsze powietrze polarne. Po południu i wieczorem powstały komórki i superkomórki burzowe w południowo-zachodniej części kraju, a następnie cały układ przemieszczał się w kierunku północnym, tworząc linię szkwału. Przemieszczając się ku północy powstał mezoskalowy układ konwekcyjny (MCS) z porywistym wiatrem przekraczającym miejscami 40 m/s. Na skutek przemieszczającego się układu burzowego uszkodzeniu uległo prawie 80 tysięcy hektarów lasów, z których ponad 39 tysięcy hektarów zostały sklasyfikowane do całkowitego odnowienia.

Słowa kluczowe: uszkodzenia lasu, porywy wiatru, klasyfikacja wiatru

Abstract. Strong winds as a cause of disaster phenomenon in forests. Climate change, which was particularly marked at the turn of the 20th and 21st centuries, was accompanied by unfavourable weather phenomena. One of the weather phenomena whose effects cannot be prevented are hurricane. Much of the most devastating storms, which crossed over Poland, were associated with low pressure systems. The occurrence of high wind speeds in the cold season is a natural feature of Poland's climate. The cause of the damage at summer may be squall fronts and tornado's. An important issue is to develop a category of winds for the forest district which can have destructive effect on the stands. Current research shows that gusty winds exceeding 11 m/s may cause first damage to the trees, while exceeding 30 m/s occur severe damage. Knowing and monitoring the mechanisms leading to strong winds, assessing their impact, and managing risk in the context of their effects is one of the important elements of a forest management strategy.

On the 11th of August 2017, after the influx of hot tropic air, much cooler polar air began to flow from the west. In the afternoon and evening began to form cell and supercell storm in the south-west of the country and then they were moving in the north direction forming a squall line. With a Mesoscale Convective System (MCS) moving to the north, there was a gusty wind exceeding 40m/s in some places. The effect of moving MCS was the damage of almost 80 thousand hectares of forests in Poland, which of more than 39 thousand hectares were classified to complete restoration.

Key words: forest damage, wind gust, wind classification

Wstęp

Kłęska żywiołowa jest katastrofą naturalną lub awarią techniczną, których skutki zagrażają życiu lub zdrowiu dużej liczby osób, mieniu w wielkich rozmiarach albo środowisku na znacznych obszarach, a pomoc i ochrona mogą być skutecznie podjęte tylko przy zastosowaniu nadzwyczajnych środków, we współdziałaniu różnych organów i instytucji oraz specjalistycznych służb i formacji działających pod jednolitym kierownictwem (Dz.U. 2002 Nr 62 poz. 558 z późn. zm.). Wśród nadzwyczajnych zjawisk naturalnych, które mogą być przyczyną kłęski żywiołowej w naszych szerokościach geograficznych duży udział mają zjawiska pogodowe. Ich oddziaływanie na środowisko leśne może być bezpośrednio związane z danym czynnikiem meteorologicznym lub pośrednio przez np. osłabienie kondycji drzew lub zakłócenie stabilności drzewostanu. Wśród zjawisk szczególnie zagrażających lasom występują wiatry o dużych prędkościach, charakteryzujące się porywistością. Poryw wiatru oznacza nagły wzrost prędkości przewyższający o więcej niż 5 m/s średnią 10 minutową prędkość. Porywy wiatru osłabiają drzewa, ponieważ powodują duże naprężenia w strukturze drewna oraz wpływają destrukcyjnie na system korzeniowy. Poznanie mechanizmów prowadzących do występowania niekorzystnych zjawisk pogodowych, ocena ich oddziaływania na las i zarządzanie ryzykiem w kontekście skutków tych zjawisk jest podstawą budowaniu strategii funkcjonowania gospodarki w tym leśnictwa (Gengfeng i in. 2014).

Warunki meteorologiczne sprzyjające silnym wiatrom

Biorąc pod uwagę genezę silnych wiatrów można wyróżnić:

- sytuację cyklonalną (niżę) związaną z ogólną cyrkulacją atmosfery w naszych szerokościach geograficznych i utworzeniem się charakterystycznych typów pól ciśnienia sprzyjających powstawaniu dużych przyrostów prędkości wiatru,
- utworzenie się w rejonach górskich zaburzeń w ogólnej cyrkulacji atmosfery, spowodowanych orografiami i stwarzających dogodną sytuację do powstania splotu ciepłego, suchego, silnego i porywistego wiatru z gór nazywanego fenem (w Tatrach nazywanego halnym),
- utworzenie się sprzyjających warunków meteorologicznych do rozwoju intensywnej konwekcji i powstania małoskalowych wirów powietrznych – burz termicznych, trąb powietrznych i szkwałów o zasięgu lokalnym (Lorenc 2012a).

Wraz ze wzrostem prędkości wiatru zmienia się charakter przepływu powietrza: od laminarnego przy bardzo małych prędkościach po turbulentny przy prędkościach większych (Parczewski 1960). Wiatr porywisty występować może przy średnich prędkościach przekraczają-

cych 11 m/s. Wg Lorenc (2012b) czynnikiem decydującym o porywistości wiatru jest nie tylko spadek ciśnienia w centrum przemieszczającego się niżu (lub rodziny niżów) nawet poniżej 970 hPa i przechodzenie frontu chłodnego lub zokludowanego, ale utworzenie się poziomego gradientu ciśnienia $\geq 1,5$ hPa/100 km. Gdy porywy wiatru przekraczają 17 m/s wielkość gradientu ciśnienia wynosi powyżej 2,5 hPa/100 km. Huraganowe wiatry (o prędkości powyżej 33 m/s) występują na ogół w określonych typach cyrkulacji cyklonalnych: północno-zachodniej (NWc) (głęboki niż z centrum nad Skandynawią), południowo zachodniej (SWc) (niż islandzki przesunięty na południe), zachodniej (Wc) (rozwinięty niż islandzki) i północnej (Nc) (niż z centrum nad krajami bałtyckim). Znaczna część najbardziej niszczycielskich huraganów (np. Cyryl w styczniu 2007r., Carmen w listopadzie 2010r.), które przeszły nad Polską występowała w tych typach cyrkulacji (tab. 1).

Tab. 1. Wybrane huraganowe wiatry w Polsce po roku 2005

Table 1. Selected hurricane winds in Poland after 2005

Data	Nazwa huraganu	Typ cyrkulacji wg Lityńskiego	Zasięg oddziaływania
1-2.11.2006	Britta	Nc	Polska NW
17-19.01.2007	Cyryl	NWc/Wc	Cały kraj, największe straty w Polsce S i środkowej
1-2.03.2008	Emma	Wc/NWc	Cały kraj, szczególnie część SW
9-10.03.2009		Wc/NWc	Polska S
22-23.03.2009		NWc	Głównie Polska N i środkowa
23.07.2009		SWc	Od Dolnego Śląska po Mazowsze
14-16.10.2009		NWc/Wc	Polska N
28.02-1.03.2010	Xynthia	Wc	Sudety, Podhale
11-12.11.2010	Carmen	SWc/Wc	Cały kraj, szczególnie część południowa
11-12.09.2011		SWc	Polska NW
16-17.12.2011	Joachim	SWc	Polska S
8-9.07.2012		NWc	Okolice Torunia
5-7.12.2013	Ksawery (Xaver)	NWc	Głównie Polska NW
19.07.2015		SWc	Od województwa wielkopolskiego przez kujawsko-pomorskie po warmińsko-mazurskie i podlaskie
17.06.2016		SWc	Głównie Polska NE
29.06.2017		NWc	Głównie Polska SE
11-12.08.2017		Wo	Od Dolnego Śląska przez Wielkopolskę i Kujawy po Pomorze Gdańskie
5-6.10.2017	Ksawery (Xavier)	NWc/Nc	Polska SW i W

Źródło: <http://www.ogimet.com/resynops.phtml.en>; <http://www.wetter-extrem.de/orkane.htm>

Występowanie dużych prędkości wiatru w chłodnej porze roku jest naturalną cechą klimatu Polski (Lorenc 2012a) związaną z ogólną cyrkulacją atmosfery. Hura-

ganowe wiatry latem klasyfikowane jako kłęski żywiołowe, charakteryzują się na ogół bardziej złożoną genezą. Przyczyną zniszczeń w tej porze roku mogą być trąby powietrzne np. sytuacja w Puszczy Piskiej 4 lipca 2002 roku lub w okolicach Częstochowy 20 lipca 2007 roku (tab. 2).

Tab. 2. Wybrane trąby powietrzne w Polsce po roku 2000
Table 2. Selected tornado's in Poland after 2000

Data	Miejsce wystąpienia	Data	Miejsce wystąpienia
29.05.2001	Okolice Nowego Targu	08.06.2009	Okolice Piątnicy
04.07.2002	Puszcza Piska	26.06.2009	Okolice Mielca
09.06.2003	Podhale	03.09.2009	Okolice Chojnic
20.08.2004	Okolice Kielc	07.05.2010	Okolice Sępola
31.05.2005	Okolice Wrocławia	18.05.2010	Okolice Suwałk
21.06.2006	Okolice Gniezna	24.05.2010	Między Trzemesznem i Orchowem
20.08.2006	Okolice Kraśnika	10.06.2010	Okolice Gryfina
20.07.2007	Okolice Częstochowy	27.08.2010	Od wschodniej części łódzkiego po mazowieckie i lubelskie
22.07.2007	Pojezierze Łęczyńsko-Włodawskie	2-3.09.2010	Kołobrzeg i Wierzchowo
21.08.2007	Mikołajki	22.05.2011	Okolice Słupcy i Koła
16.04.2008	Okolice Grudziądza	30.06.2011	Bydgoszcz
18.05.2008	Okolice Trzebini	14.07.2011	Okolice Opoczna i Żarnowa
15.08.2008	Woj. Śląskie i pd. część łódzkiego; okolice Węgrowa i Sokolowa Podlaskiego	14.07.2012	Okolice Starogardu Gd., Kwidzyna, Tucholi
		07.07.2017	Woj. Lubuskie, dolnośląskie, opolskie i śląskie

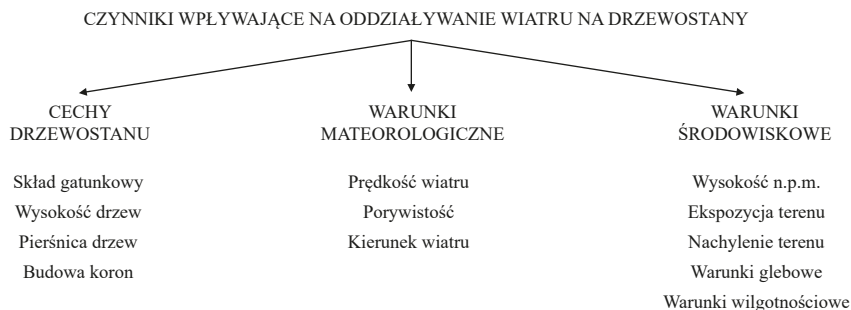
Źródło: H. Lorenc 2012. Maksymalne prędkości wiatru w Polsce. Monografie IMGW-PIB; <https://www.eswd.eu/>

W chłodnej porze roku najważniejszym czynnikiem wpływającym na powstawanie silnych wiatrów jest dynamiczne pole wiatru, natomiast w cieplej porze roku duża niestabilność termodynamiczna i wodność atmosfery oraz głęboki uskok wiatru (Taszarek, Kolendowicz 2013). Średnio rocznie w Polsce występuje 8-14 trąb powietrznych, najczęściej od maja do sierpnia, w godzinach 15-18 UTC (Taszarek, Brooks 2015). Niszczycielskie wiatry zdarzały się w naszych warunkach klimatycznych również w czasach historycznych, a o ich występowaniu świadczą nie tylko wyniki pomiarów meteorologicznych, ale także zapiski kronikarskie i archiwalne materiały prasowe (Taszarek, Gromadzki 2017).

Silne wiatry a środowisko leśne

Oddziaływanie wiatru o dużych prędkościach, charakteryzujących się porywistością, na ekosystemy leśne można rozpatrywać w kontekście uszkodzeń pierwotnych (mechaniczne uszkodzenia drzew) i wtórnych (późniejsze uszkodzenia osłabionych drzew przez czynniki biotyczne i abiotyczne) oraz jako utrata wartości produkcyjnej drzewostanu (Gardiner i in. 2010). Mechanizm oddziaływania wiatru na drzewostan jest uzależniony od cech tego drzewostanu oraz genezy

i przebiegu niekorzystnych zjawisk pogodowych (Zajączkowski 1991; Marshall 1998; Lorenc 2012a). Oprócz czynników meteorologicznych i drzewostanowych wpływać na powstanie strat w lasach pod wpływem wiatru mogą także lokalne czynniki środowiskowe (ryc. 1).



Ryc. 1. Czynniki decydujące o powstaniu strat w drzewostanie z powodu silnego wiatru
Fig. 1. Factors determining loss in the stand due to strong wind

Badania dotyczące strat wywołanych w lasach przez silny wiatr powinny być prowadzone w sposób kompleksowy: należy poznać mechanizmy prowadzące do powstania i przebiegu procesów atmosferycznych w danych warunkach fizycznogeograficznych oraz mechanizmy związane z odpornością drzew i drzewostanów na wiatr. Biorąc pod uwagę czynniki meteorologiczne można wskazać sytuacje stwarzające zagrożenia i wyznaczyć odpowiednie stopnie zagrożenia (tab. 3), które mogą być przydatne na etapie prognozowania i zarządzania ryzykiem.

Tab. 3. Klasyfikacja maksymalnych prędkości wiatru dla gospodarstwa leśnego w Polsce
Table 3. Classification of maximum wind force for a forest district in Poland

Stopień zagrożenia lasu	Prędkość [m/s] na wysokości 10 m n.p.g.	Charakterystyka wiatru	Skutki działania wiatru
1.	≥ 11	Porywisty	Porusza duże gałęzie i mniejsze drzewa, utrudnia prowadzenie prac terenowych
	≥ 17	Gwałtowny	Łamie gałęzie drzew
2.	≥ 21	Wichura	Łamie grube gałęzie i konary
	≥ 25	Silna wichura	Łamie i wrywa drzewa o płytkim systemie korzeniowym
3.	≥ 29	Bardzo silna wichura	Wrywa drzewa z korzeniami, powoduje straty na większych powierzchniach
	≥ 33	Huragan	Wrywa lub łamie duże drzewa, niszczy rozległe obszary lasu

Źródło: Chojnacka-Oźga, Oźga (2018).

Ostrzeżenia o silnym wietrze podawane przez IMGW-PIB obejmują 3 stopnie: ostrzeżenie 1 stopnia wskazuje na wiatr o średniej prędkości 15-20 m/s (porywy do 25 m/s), 2 stopnia –

prędkość średnia 20-25 m/s (porywy do 32 m/s) i 3 stopnia – prędkość średnia powyżej 25 m/s (porywy powyżej 32 m/s) (<http://pogodynka.pl/ostrzezenia/klasyfikacja>). Z uwagi na skutki jakie mogą być wynikiem oddziaływania wiatru na las, biorąc pod uwagę klasyfikację Lorenc (2012a) opracowaną z uwzględnieniem skali Beauforta, Safira-Simpsona i Fujity, w praktyce leśnej każdy stopień ostrzeżeń IMGW-PIB może wiązać się z ryzykiem strat lub zagrożeniem zdrowia lub życia osób przebywających w lesie. W dotychczasowych badaniach wykazano, że uszkodzenia drzew rosną liniowo wraz ze wzrostem prędkości wiatru. Na ogół przy prędkości wiatru poniżej 17 m/s uszkodzenia są niewielkie, łamanie i wrywanie drzew występuje po przekroczeniu 33 m/s, ale w warunkach skraju lasu niektóre słabsze drzewa mogą ulegać uszkodzeniu już przy prędkości 12-14 m/s (Xi, Peet 2011). Wynika to z dużej przestrzennej zmienności pola wiatru (nawet w terenie płaskim) i faktu, że ostrzeżenia meteorologiczne i klasyfikacje prędkości wiatru oparte są na pomiarach wykonywanych w warunkach standardowej stacji meteorologicznej.

Model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr uwzględniający cechy drzewostanu i dotychczasowe straty został opracowany przez Bruchwalda i Dmyterko (2010). Uwzględnia on zmienne (średnią wysokość gatunku głównego, wiek gatunku głównego, skład gatunkowy, średnią smukłość oraz czynnik zadrzewienia) i stałe cechy drzewostanu (typ siedliskowy, orografia, położenie względem skraju lasu, sposób wykształcenia ściany lasu).

Prowadząc klasyfikację skutków oddziaływania wiatru na drzewostany uwzględniane są dwie charakterystyki: miąższość wywrotów i złomów (wielkość uszkodzeń) oraz wielkość uszkodzonej powierzchni leśnej (zasięg przestrzenny, ryc. 2). Biorąc pod uwagę te cechy można wprowadzić indeksowanie uszkodzeń drzewostanu przez silne wiatry: 1 – uszkodzenia umiarkowane, 2 – silne i 3 – ekstremalne (Stucki i in. 2014).

Wielkość uszkodzeń katastrofalna ↑ ↓ Znaczna	Indeks 2 silne	Indeks 3 katastrofalne	Indeks 3 katastrofalne
	Indeks 1 umiarkowane	Indeks 2 silne	Indeks 2 silne
	Jednostkowe	Indeks 1 umiarkowane	Indeks 1 umiarkowane
← Zasięg przestrzenny →			
Lokalny		Regionalny	

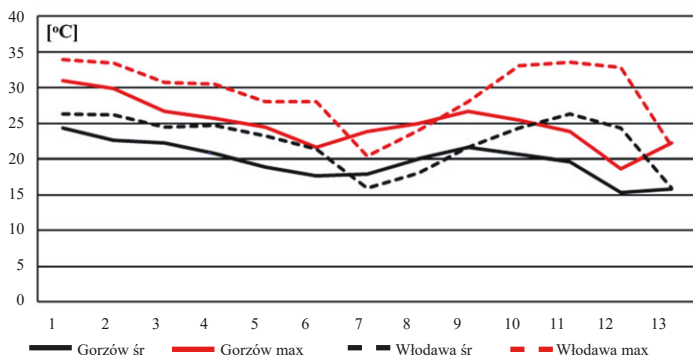
Ryc. 2. Klasyfikacja skutków (strat) oddziaływania silnego wiatru na drzewostany

Fig. 2. Classification of the effects (losses) of strong wind on tree stands

W Szwajcarii jako granicę między indeksem uszkodzeń 1 i 2 (straty występujące średnio co 3 lata) przyjęto uszkodzenia obejmujące 41 000 m³, natomiast między 2 i 3 (straty występujące średnio co 30 lat) – 633 000 m³ drewna (Stucki i in. 2014).

Huraganowe prędkości wiatru 11/12 sierpnia 2017 roku w Polsce

W końcu pierwszej dekady sierpnia 2017 roku Polska znalazła się między wyżem na wschodzie i niżem na zachodzie, po wschodniej stronie zafalowanego frontu. Napływało upalne powietrze z południa kontrastujące z chłodniejszym o ponad 15°C powietrzem na zachodzie (ryc. 3).



źródło danych: https://dane.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_observacyjne/

Ryc. 3. Średnie (śr) i maksymalne (max) dobowe wartości temperatury powietrza w pierwszej połowie sierpnia 2017 roku w Polsce Zachodniej (Gorzów) i Wschodniej (Włodawa)

Fig. 3. Average (śr) and maximum (max) daily values of air temperature in the first half of August 2017 in Western Poland (Gorzów) and Eastern Poland (Włodawa)

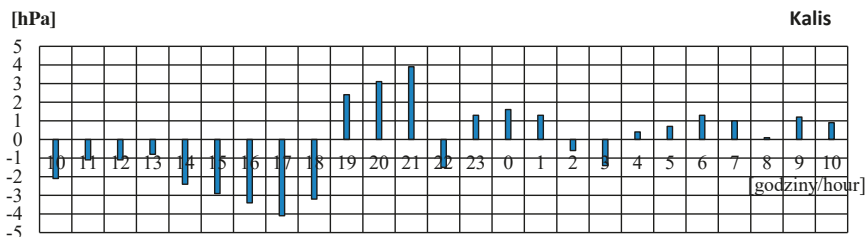
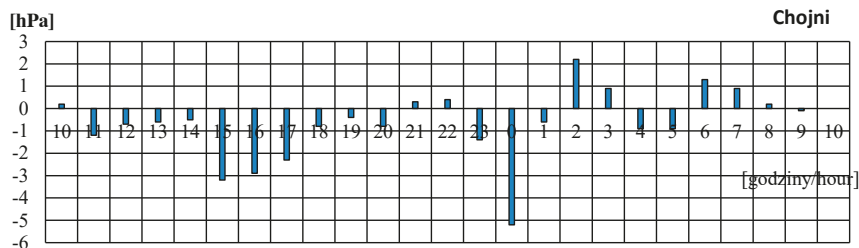
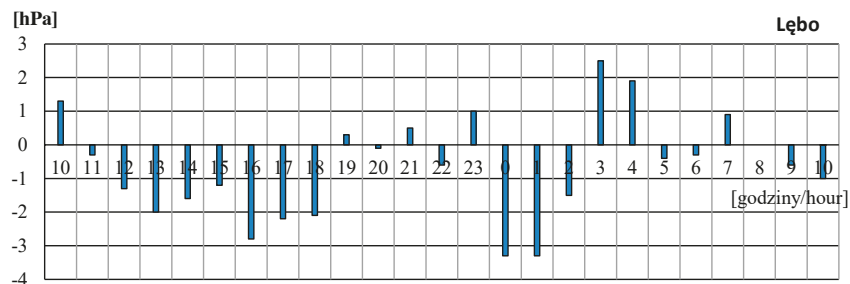
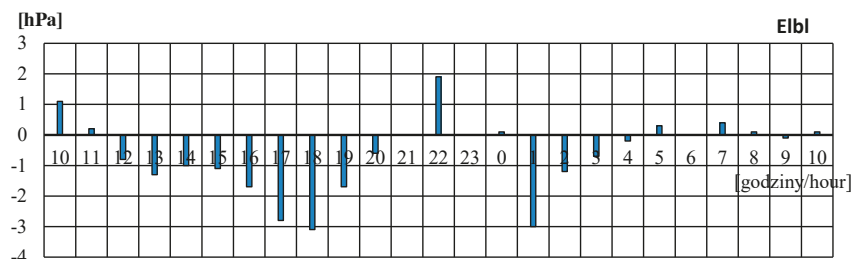
W dniach 10-12 sierpnia niż nad Atlantykiem przemieszczał się na NE i pogłębiał się. 11 sierpnia Polska znalazła się w zatoce niskiego ciśnienia, w której, przy dużej energii chwiejności, utworzył się ośrodek niżowy i zafalowany front. Tendencja baryczna w tym dniu wynosiła 4-5hPa (ryc. 4).

W godzinach popołudniowych i wieczornych początkowo nad Dolnym Śląskiem, a następnie nad Wielkopolską powstały komórki i superkomórki burzowe. Między godziną 21:00 i 22:00 EET, powstała struktura bow echo, a następnie wykształcił się mezoskalowy układ konwekcyjny (ryc. 5). Podczas przechodzenia całego układu występowały bardzo silne porywy wiatru (ryc. 6).

Sytuacja meteorologiczna jaka była przyczyną strat w drzewostanach środkowo-zachodniej Polski została szerzej scharakteryzowana przez Chojnacką-Ożgą i Ożgę (2018) oraz Taszarka i in. (2018).

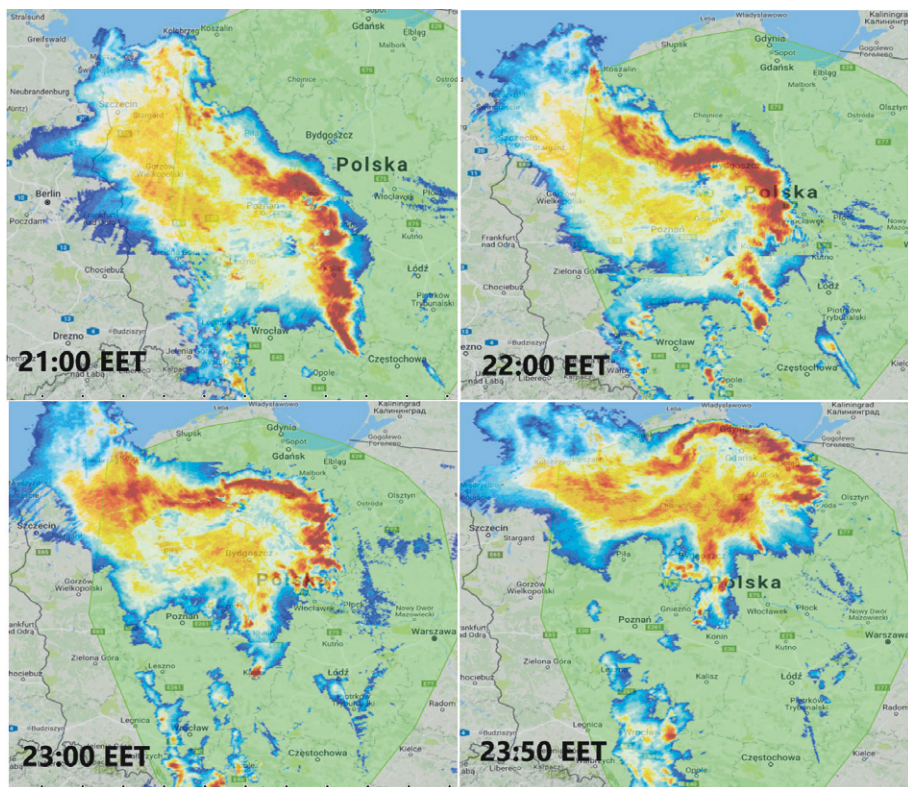
Podsumowanie

Lasy, oprócz funkcji produkcyjnej, pełnią ważną rolę w ochronie różnorodności biologicznej, zasobów wody, łagodzeniu skutków zmian klimatu oraz sekwestracji węgla. Wskazany jest więc stworzenie w celach operacyjnych klasyfikacji zjawisk niebezpiecznych dla gospodarki leśnej, w tym również skrajnych prędkości wiatru, z uwzględnieniem prawdopodobieństwa ich wystąpienia i możliwych skutków. Na podstawie określonego ryzyka zagrożenia drzewostanu przez silny wiatr, można podjąć odpowiednie działania w ramach planowania hodowlanego i urzędzeniowego zmierzające do jego obniżenia (Bruchwald, Dmyterko 2010).



źródło danych: <http://www.ogimet.com>

Ryc. 4. Tendencja baryczna na wybranych stacjach meteorologicznych w dniu 11-12 sierpnia 2017 roku
Fig. 4. The pressure tendency at selected meteorological stations on 11-12 August 2017

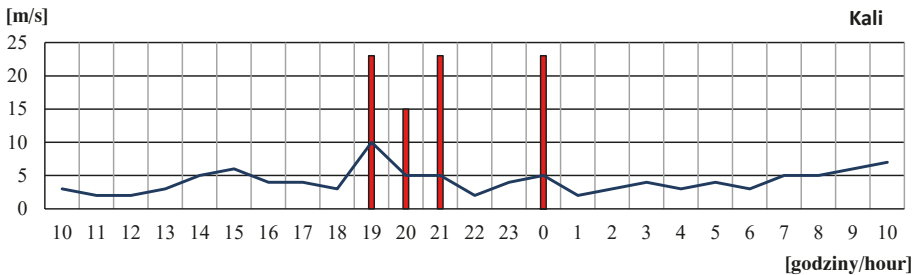
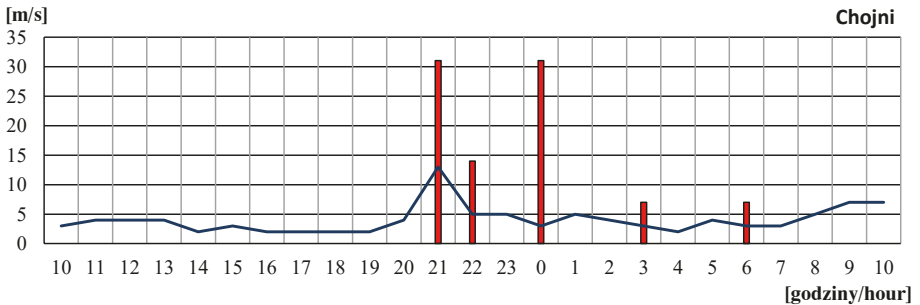
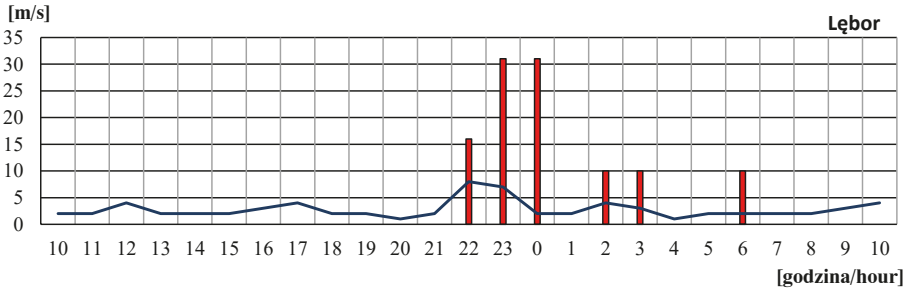
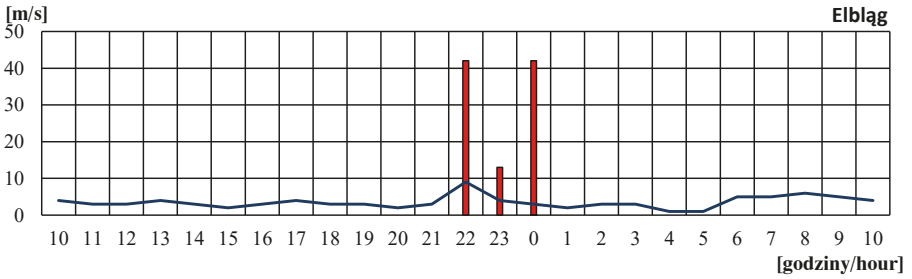


źródło: <https://radar-opadow.pl/?radartype=cappi&date=11-08-2017#>

Ryc. 5. Tworzenie się mezocyclonu, bow echa i mezoskalowego układu konwekcyjnego na obrazie radarowym

Fig. 5. Formation of mesocyclone, bow echo and mesoscale convective system on a radar image

Obszar objęty stratami w lasach w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku, szczególnie jego południowa część, położony jest peryferyjnie w stosunku do stwierdzonych wcześniej rejonów szczególnie narażonych na silne wiatry (Zajączkowski 1991, Dmyterko i in. 2015). Rozmiar strat i przebieg procesów atmosferycznych wskazują, że zagrożenia mogą dotyczyć nadszaleństw znajdujących się w strefie niskiego ryzyka zniszczenia lasu przez silny wiatr. Według Panferova i in. (2009) w kolejnych latach przez łączne oddziaływanie wzrostu temperatury powietrza, zmniejszenie się dostępności wody w glebie i częstsze zjawiska ekstremalne, w tym duże prędkości wiatru, zwiększy się ryzyko uszkodzeń drzewostanów. Dlatego ważnym elementem w budowaniu systemu zarządzania ryzykiem i odpowiedniego ostrzegania jest uwzględnianie aktualnych prognoz meteorologicznych.



źródło danych: <http://www.ogimet.com>

Ryc. 6. Średnie (linia) prędkości i porywy (słupki) wiatru na wybranych stacjach meteorologicznych w dniu 11/12 sierpnia 2017 roku

Fig. 6. The average (line) speed and gusts (bars) of the wind on selected meteorological stations on 11/12 August 2017

Literatura

- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010. Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. *Leśne Prace Badawcze* 71, 2: 165-173.
- Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 2018. Warunki meteorologiczne powstania szkód wiatrowych w dniach 11–12 sierpnia 2017 roku w lasach środkowo-zachodniej Polski. *Sylwan* 3: 200-208.
- Dmyterko E., Mionskowski M., Bruchwald A. 2015. Zagrożenie lasów Polski na podstawie modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. *Sylwan* 159, 5: 361-371.
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J.M., Fleischer P., Ingemarson F., Landmann G., Lindner M., Marzano M., Nicoll B., Orazio C., Peyron J.L., Reviron M.P., Schelhaas M.J., Schuck A., Spielmann M., Usbeck T. 2010. Destructive storms in European forests: past and forthcoming impacts. The Atlantic European Regional Office of the European Forest Institute -EFIATLAN-TC report of the EC.
- Gengfeng L., Peng Z., Peter B., Wenyuan L., Zhaohong B., Camilo S., Zhibing Z. 2014. Risk analysis for distribution systems in the Northeast U.S. under wind storms. *IEEE Transactions on power system*. 29, 2: 889-898.
- Lorenc H. 2012a. Maksymalne prędkości wiatru w Polsce. Monografie IMGW-PIB.
- Lorenc H. 2012b. Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce W: Lorenc H. (red.) *Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*. Monografie IMGW-PIB: 33-59.
- Marshall B.J. 1998. Wind flow structures and wind forces in forest. University of Oxford.
- Parczewski W. 1960. Klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru w zastosowaniu do opracowań klimatologicznych i bioklimatycznych. *Prz. Geofiz.* 3: 117-122.
- Panferov O., Doering C., Rauch E., Sogachex A., Ahrends B. 2009. Feedbacks of windthrow for Norway spruce and Scots pine stands under changing climate. *Environmental Research Letters* 4, 4: 1-10.
- Stucki P., Brönnimann S., Martius O., Welker C., Imhof M., Wattenwyl N., Philipp N. 2014. A catalog of high-impact windstorms in Switzerland since 1859. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14: 2867-2882.
- Taszarek M. 2012. Sounding-derived parameters associated with tornado occurrence in Poland and Universal Tornado Index. Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego UAM, Poznań, maszynopis.
- Taszarek M., Kolendowicz L. 2013. Sounding-derived parameters associated with tornado occurrence in Poland and Universal Tornado Index. *Atmospheric Research* 134:186-197.
- Taszarek M., Brooks H.E. 2015. Tornado climatology of Poland. *Monthly Weather Review* 143: 702-717.
- Taszarek M., Gromadzki J. 2017. Deadly tornadoes in Poland from 1820 to 2015. *Monthly Weather Review*. 145: 1221-1243.
- Taszarek M., Pilguy N., Orlikowski J., Surowiecki A., Walczakiewicz S., Pilorz W., Piasecki K., Pajurek Ł., Pótrolniczak M. 2018. Derecho evolving from the mesocyclone – a study of 11 August 2017 severe weather outbreak in Poland: event analysis and high-resolution simulation (w druku, źródło: https://www.facebook.com/lowcyburz/posts/10156401731807332?_tn__=K-R)
- Zajączkowski J. 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wyd. „Świat”, Warszawa.
- Xi W., Peet R.K. 2011. The Complexity of catastrophic wind impacts on temperate forests. =W: A. Lupo (red.): *Recent hurricane research - climate, dynamics, and societal impacts* InTech Shanghai: 503-534.
- Strony internetowe:
<http://www.ogimet.com>
<http://www.wetter-extrem.de/orkane.htm>
http://www.wetter-extrem.de/stuerme/hr/hr_index.htm
https://www.metcheck.com/WEATHER/gfscharts_archive.asp
https://radar-opadow.pl/?radartype=cappi&date=11-08-2017#http://www.wetter-extrem.de/gewitter/gewitter_110817.htm
<http://pogodynka.pl/ostrzezenia/klasyfikacja>
https://dane.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/

Longina Chojnacka-Ożga, Wojciech Ożga

Katedra Hodowli Lasu

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

wojciech_ozga@sggw.pl