

LONGINA CHOJNACKA-OŻGA, WOJCIECH OŻGA

Warunki meteorologiczne powstania szkód wiatrowych w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku w lasach środkowo-zachodniej Polski

Meteorological conditions of the occurrence of wind damage on August 11-12, 2017 in the forests of central-western Poland

ABSTRACT

Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 2018. Warunki meteorologiczne powstania szkód wiatrowych w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku w lasach środkowo-zachodniej Polski. Sylwan 162 (3): 200-208.

Climate change, which was particularly marked at the turn of the 20th and 21st centuries, was accompanied by unfavourable weather phenomena. One of whose effects cannot be prevented is hurricane. Much of the most devastating storms (e.g. Kyrill in January 2007, Carmen in November 2010), which crossed over Poland, was associated with low pressure systems. The occurrence of high wind speeds in the cold season is a natural feature of Polish climate. Hurricanes in the summer are generally characterized by more complicated origin. The cause of the damage at this time of year may be squall fronts and tornados (e.g. July 4th, 2002 – Puszcza Piska; July 20th, 2007 – Częstochowa region). 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 blows with velocity exceeding 30 m/s result in severe damage. Knowing and monitoring the mechanisms that leads 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 August 11th, 2017, after the influx of hot tropic air, much cooler polar air began to flow from the west. In the afternoon and evening storm cell and supercell began to form in the south-west of the country. Later on, they moved in the north direction forming a squall line. With a Mesoscale Convective System (MCS) moving to the north, there was a gusty wind exceeding 40 m/s in some places. A gust of wind occurred around 18.30 (EET) in Dolny Śląsk (SW Poland) and after about 2 hours in Pomerania (N Poland). The pressure tendency during the transition reached 4-5 hPa. In the northern part of the country, gusts of wind were the largest and occurred several times in 2-3 hours. The system was accompanied by heavy precipitations, which in north Poland determine more than 60% of the average monthly rainfall. 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

Mesoscale Convective System, wind gust, forest damage

ADDRESSES

Longina Chojnacka-Ożga – e-mail: longina_chojnacka_ozga@sggw.pl

Wojciech Ożga – e-mail: wojciech_ozga@sggw.pl

Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Skrajnie niekorzystne zjawiska pogodowe, występujące w okresie współczesnych zmian klimatu coraz częściej [Kundzewicz, Matczak 2010], skutkują konsekwencjami środowiskowymi, gospodarczymi i społecznymi. Adaptacja systemów społeczno-gospodarczych do prognozowanych zmian powinna prowadzić do zapobiegania ewentualnym szkodom i przekształceniom oraz odpowiedniego zarządzania w sytuacjach, gdy szkodom nie można zapobiec. Poznanie mechanizmów prowadzących do występowania niekorzystnych zjawisk pogodowych, ocena ich oddziaływania i zarządzanie ryzykiem w kontekście skutków tych zjawisk jest podstawą budowania strategii funkcjonowania różnych działów gospodarki [Gengfeng i in. 2014]. Skutkami zdarzeń i zjawisk ekstremalnych są różnego rodzaju bezpośrednie lub pośrednie zakłócenia lub ograniczenia w zaspokajaniu materialnych i niematerialnych potrzeb społecznych [Lisowski 1993]. Zjawiskiem, którego skutki destrukcyjne są w gospodarce leśnej nieuniknione, jest huraganowy wiatr. Ryzyko uszkodzenia drzewostanu przez wiatr uzależnione jest od cech samego drzewostanu [Bruchwald i in. 2012b; Dmyterko, Bruchwald 2014]. Oddziaływanie silnego wiatru 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 utratę wartości produkcyjnej drzewostanu [Gardiner i in. 2010]. Mechanizm oddziaływania wiatru na drzewostan jest uzależniony nie tylko od cech drzewostanu, ale również od genezy i przebiegu niekorzystnych zjawisk pogodowych [Zajączkowski 1991; Marshall 1998; Lorenc 2012]. Zniszczenie lasu przez wiatr wpływa negatywnie na rezerwy węgla w ekosystemie, a przywracanie poprzedniej sytuacji może trwać kilka dekad [Thürig i in. 2013; Konopka i in. 2016]. Osłabienie drzew przez silny wiatr może wpływać również na właściwości drewna [Tomczak i in. 2012], natomiast degradacja drzewostanów i powstałe wiatrolomy na chemizm wód [Żelazny i in. 2017]. Wskazywane jako zagrożone silnym wiatrem obszary obejmujące północną część Bałtyku, Sudety i Karpaty, a także część pojezierzy, wyżyn, pogórz i przedgórz [Zajączkowski 1991] należałoby poszerzyć o pas przebiegający od wybrzeża do Przedgórz Sudeckiego oraz fragment Niziny Mazowieckiej [Lorenc 2012]. Występowanie dużych prędkości i porywów wiatru należy rozpatrywać zarówno w skali regionalnej, jak i lokalnej, a skutki można klasyfikować zależnie od stopnia zniszczeń [Peterson 2000; Stucki i in. 2014]. Genetycznie duże prędkości wiatru w Polsce wynikają z działalności cyklonalnej, warunków sprzyjających powstawaniu sytuacji fenowej w górach lub tworzeniu się małoskalowych wirów powietrza (trąb powietrznych). Według Lorenc [2012] można wyróżnić huraganowe typy cyrkulacji cyklonalnych: północno-zachodnią (głęboki niż z centrum nad Skandynawią), południowo-zachodnią (niż islandzki przesunięty na południe), zachodnią (rozwinęty niż islandzki) i północną (niż z centrum nad krajami bałtyckimi). Znaczna część najbardziej niszczycielskich huraganów (np. Cyryl w styczniu 2007, Carmen w listopadzie 2010), które przeszły nad Polską, występowała w tych typach cyrkulacji. Duże prędkości wiatru w chłodnej porze roku są naturalną cechą klimatu Polski [Lorenc 2012], związaną z ogólną cyrkulacją atmosfery. Huraganowe wiatry latem, klasyfikowane jako kłęski żywiołowe, charakteryzują się na ogół bardziej złożoną genezą. Przyczyną zniszczeń w tej porze roku mogą być trąby powietrzne związane z frontami szkwałowymi [Niedźwiedź 2003] (np. sytuacja w Puszczy Piskiej 4 lipca 2002 roku) lub z sytuacją mezocyklonalną (superkomórką burzową) [Trzaskowski 2002; Guy 2003; Parfiniewicz 2009] (np. trąba powietrzna w okolicach Częstochowy 20 lipca 2007 roku).

Celem opracowania było określenie warunków meteorologicznych, które przyczyniły się do uszkodzenia w sierpniu 2017 roku prawie 80 tys. ha lasów w Polsce, z czego ponad 39 tys. ha zakwa-

lifikowanych zostało do całkowitego odnowienia. Poznanie przebiegu ekstremalnych zjawisk meteorologicznych ma szczególne znaczenie z uwagi na konieczność podejmowania działań minimalizujących niekorzystne skutki społeczno-gospodarcze w lasach.

Material i metody

Określenie warunków anemometrycznych mogących stwarzać zagrożenie w środowisku leśnym ma duże znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne. Podział wiatrów według klas prędkości był przedmiotem opracowań ogólnych [Parczewski 1960] oraz odnoszących się do zjawisk ekstremalnych [Lorenc 2012; Stucki i in. 2014]. Klasyfikacje prędkości wiatru dokonywane są na podstawie różnych przesłanek [Dotzek 2009] i w odniesieniu do różnych dziedzin działalności człowieka. Biorąc pod uwagę skalę Beauforta, Safira-Simpsona i Fujity, Lorenc [2012] opracowała klasyfikację maksymalnych prędkości wiatru w Polsce i skutków jego działania. Wyróżniono 6 klas prędkości wiatru z dodatkowym podziałem klasy VI, oznaczającej huragan, na 3 podklasy (stopnie). Uwzględniając podział zaproponowany przez Lorenc [2012] i Cullena [2002] oraz biorąc pod uwagę skutki ekstremalnych wiatrów stwierdzane w drzewostanach, dla praktyki leśnej można przyjąć 6-stopniową skalę prędkości wiatru (tab. 1).

Obszar badawczy obejmował pas Polski objęty uszkodzeniami lasu od wiatru w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku położony na terenie regionalnych dyrekcji LP Gdańsk, Toruń i Poznań. Realizując cel badań, wybrano stacje meteorologiczne zlokalizowane na tym obszarze lub w jego najbliższym sąsiedztwie. Dane meteorologiczne zaczerpnięto z depesz SYNOP (www.ogimet.com) oraz raportów z leśnych stacji meteorologicznych. Z uwagi na niekompletność lub brak homogeniczności niektórych serii pomiarowych analizy ograniczono do wybranych stacji meteorologicznych. Przeanalizowano zmienność czasową tendencji barycznej, temperatury powietrza oraz prędkości wiatru z uwzględnieniem porywów wiatru w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku.

Wyniki

WARUNKI SYNOPTYCZNE. Sytuacja synoptyczna w sierpniu 2017 roku cechowała się dużą dynamiką. Na początku miesiąca Polska znajdowała się pod wpływem wyżu z centrum położonym na południowy wschód od kraju. Układ ten warunkował napływ z południa powietrza, które charakteryzowało się bardzo wysokimi wartościami temperatury, łącznie z występowaniem gorących (tropikalnych) nocy. W dniach 3-4 sierpnia niż znad Atlantyku kierowany przez prąd strumieniowy przemieszczał się ku wschodowi, przemieszczał się także front polarny. W efekcie zmianie uległa cyrkulacja powietrza: 5 sierpnia Polska znajdowała się w cyrkulacji zachodniej, napływało chłodniejsze powietrze polarne. W kolejnych dniach nad Europą Zachodnią uformował się układ wyżowy przemieszczający się stopniowo na wschód. Kierunek napływu powietrza na południowy zmienił się w Polsce ponownie 8 sierpnia. W następnych dniach znad Atlantyku nad Europę przemieszczał się układ niżowy wspomagany aktywnym prądem strumieniowym. 9 sierpnia 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. Od zachodu nasuwał się falujący front, oddzielający napływ upalnego powietrza zwrotnikowego z kierunku SE na wschodzie kraju od napływającego z kierunku NW chłodnego powietrza polarnego na zachodzie. W dniach 10-12 sierpnia niż nad Atlantykiem przemieszczał się w kierunku 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. W godzinach popołudniowych i wieczornych początkowo nad Dolnym

Tabela 1.

Klasyfikacja maksymalnych prędkości wiatru dla gospodarstwa leśnego w Polsce [Lorenc 2012; zmienione]

Classification of maximum wind force for a forest district in Poland [Lorenc 2012; modified]

Klasa prędkości Speed class	Stopień zagrożenia lasu Degree of forest threat	Prędkość [m/s] na wysokości 10 m n.p.g. Speed [m/s] at 10 m a.g.l.	Charakterystyka wiatru Characteristic of wind	Skutki działania wiatru Effects of wind
I	1	≥11	Porywisty Gustiness	Porusza duże gałęzie i mniejsze drzewa, łamie gałęzie drzew osłabionych Moves large branches and smaller trees, breaks branches of weakened trees
II	1	≥17	Gwałtowny Violent	Łamie gałęzie drzew zdrowych Breaks branches of healthy trees.
III	2	≥21	Wichura Gale	Łamie grube gałęzie i konary Breaks thick branches and boughs
IV	2	≥25	Silna wichura Strong Gale	Łamie i wyrzywa drzewa o płytkim systemie korzeniowym Breaks and tears trees with a shallow root system
V	3	≥29	Bardzo silna wichura Whole Gale	Wyrzywa drzewa z korzeniami, powoduje straty na większych powierzchniach Tears trees with roots, causes loss on larger surfaces
VI	3	≥33	Huragan Hurricane	Wyrzywa lub łamie duże drzewa, niszczy rozległe obszary lasu Tears or breaks large trees, destroys vast areas of the forest

Śląskiem, a następnie nad Wielkopolską powstały komórki i superkomórki burzowe, tworząc linię szkwału. Na pograniczu poznańskiej i toruńskiej RDLP linia ta utworzyła charakterystyczne wygięcie określane jako bow echo, typowe dla mezoskalowego układu konwekcyjnego. W przemieszczającym się ku północy układzie narastała prędkość i porywistość wiatru (tab. 2).

Przemieszczający się od Dolnego Śląska po Pomorze układ spowodował wyraźne zmiany ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza (ryc. 1).

W chwiejnym powietrzu rozbudowały się chmury burzowe, przynoszące intensywne opady atmosferyczne. Suma dobowa opadu wzrastała ku północy obszaru objętego burzami i wynosiła w Kaliszu 26,3 mm, w Toruniu 33,2 mm, w Chojnicach 34,6 mm, a w Łęborku 60,2 mm. Opady miejscami były bardzo intensywne, np. 57% dobowej sumy opadu w Chojnicach przypadało na burzę, która wystąpiła około godziny 21.

WARUNKI ANEMOMETRYCZNE. W dniu 11 sierpnia po godzinie 19 od Dolnego Śląska w kierunku Pomorza stwierdzono wzrost średnich wartości prędkości wiatru (ryc. 2). Wiatr charakteryzował się bardzo dużą porywistością. Duża krótkookresowa zmienność prędkości wiatru wpływa negatywnie na stabilność drzew i naraża je na większe uszkodzenia. Pierwsze porywy III klasy prędkości (tab. 1) zanotowano w Kaliszu o godzinie 19, kolejne o godzinie 21 i o północy. W położonych nieco na zachód Piaskach poryw o godzinie 20 mieścił się w IV klasie prędkości. Nieco słabsze porywy wiatru wystąpiły w Inowrocławiu (o godzinie 20) i Miradzu (o godzinie 22). Najwyższą

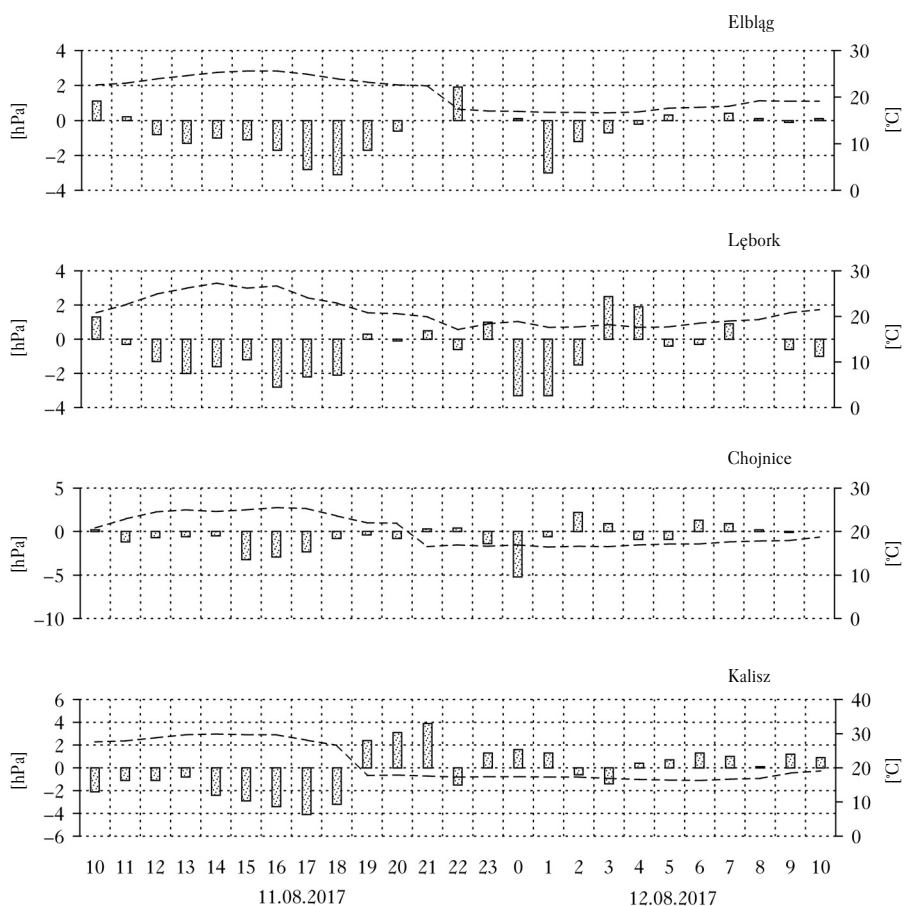
prędkość wiatru podczas porywów zarejestrowano na północy kraju o godzinie 21 (Chojnice), 22 (Elbląg), 23 (Zmarzenia, Lębork) i o północy (Chojnice, Lębork, Elbląg). Prędkość wiatru podczas porywów mieściła się w V (Lębork, Chojnice) i VI (Elbląg) klasie prędkości. Porywy wiatru występowały w Chojnicach i Lęborku do godziny 6 12 sierpnia (ryc. 2).

Tabela 2.

Godzina wystąpienia pierwszego porywu wiatru $v > 15$ m/s (godzina) i maksymalna prędkość wiatru w porywach (v_{max}) w dniach 11-12 sierpnia 2017 na wybranych stacjach meteorologicznych

Time of the occurrence of the first gust of wind at $v > 15$ m/s (godzina) and maximum wind speed in gusts (v_{max}) during August 11-12, 2017 on selected meteorological stations

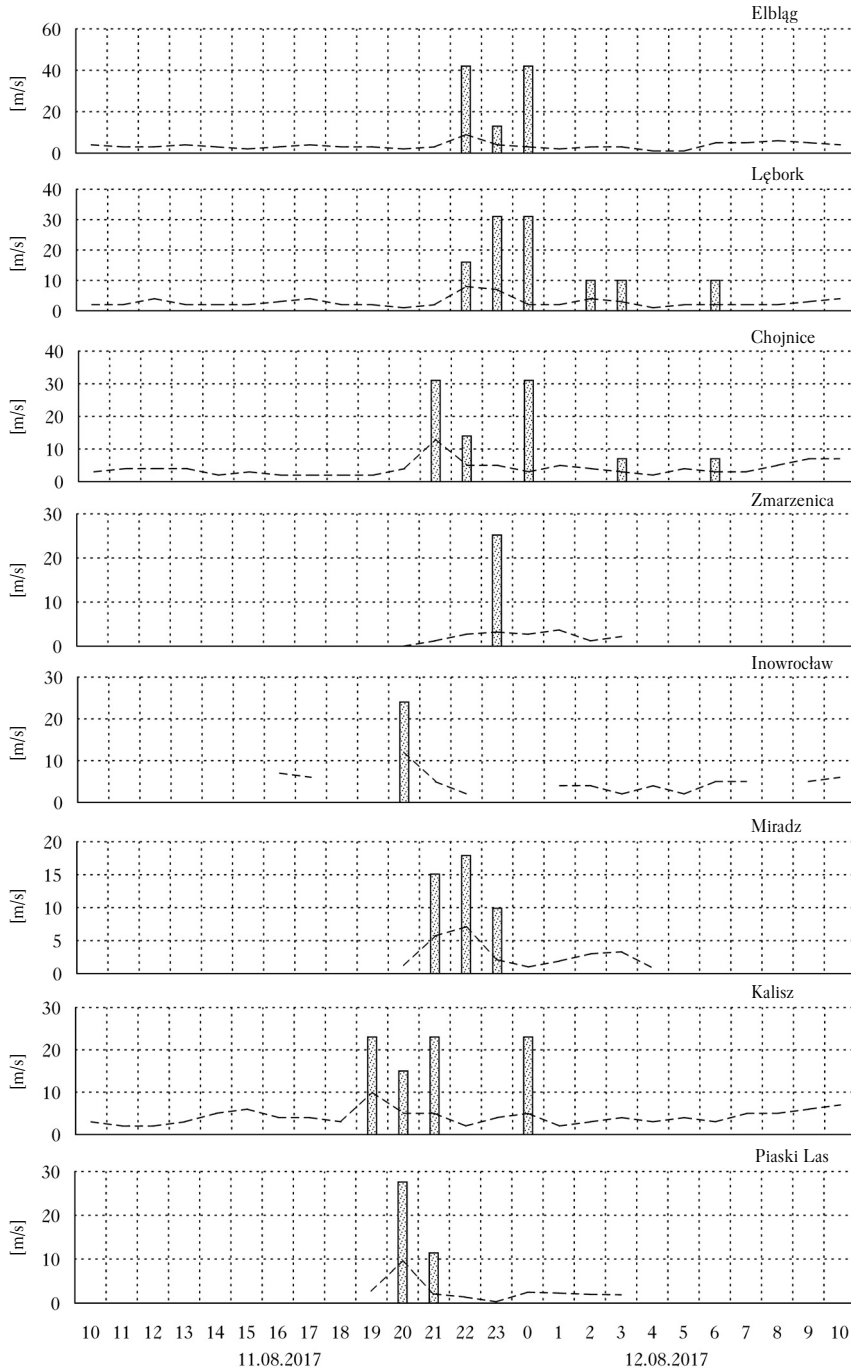
	Wołów Tarchalice	Piaski Las	Miradz	Chojnice	Choczewo Kopalino
Godzina	18:30	19:30	21:00	20:50	21:50
v_{max} [m/s]	13,1	16,7	15,1	31,2	32,4



Ryc. 1.

Tendencja baryczna [hPa] (słupki) oraz temperatura powietrza [°C] (linia) na wybranych stacjach meteorologicznych w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku

Pressure tendency [hPa] (bars) and air temperature [°C] (line) on selected meteorological stations on August 11-12, 2017



Ryc. 2.

Średnia prędkość wiatru [m/s] (linia) oraz prędkość wiatru podczas porywów [m/s] (słupki) na wybranych stacjach meteorologicznych w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku

Average wind speed [m/s] (line) and wind speed during the gusts [m/s] (bars) on selected meteorological stations on August 11-12, 2017

Dyskusja

Występowanie skrajnych sytuacji meteorologicznych wiąże się ściśle ze zmiennością sytuacji synoptycznej [Sulikowska i in. 2016]. Niszczycielskie huragany powodujące duże straty w drzewostanach występowały na ogół w chłodnej porze roku (np. huragan Cyryl w 2007 roku), w typie cyrkulacji cyklonalnej [Araźny i in. 2007; Lorenc 2012]. Częstość występowania silnych wiatrów latem jest w naszych szerokościach geograficznych znacznie mniejsza [Gardiner i in. 2010; Lorenc 2012; Konopka i in. 2016]. Latem duży przyrost prędkości wiatru wiąże się na ogół z trąbami powietrznymi lub frontami szkwałowymi [Niedźwiedź 2003]. Każda z tych sytuacji może doprowadzić do destrukcji drzewostanu przez ukierunkowane łamanie i przewracanie drzew (burze termiczne i szkwały bez trąb powietrznych) lub „ukręcanie” i przewracanie drzew (trąby powietrzne). W nocy z 11 na 12 sierpnia 2017 roku w większości nadleśnictw objętych gwałtownymi zjawiskami pogodowymi nastąpiło ukierunkowane łamanie, przechylenie lub wyrwanie drzew na dość dużym obszarze, co wskazuje na inną niż trąba powietrzna przyczynę strat. Zafalowanie frontu, duża zawartość pary wodnej w powietrzu i zmiany w profilu pionowym wiatru były wówczas przyczyną tworzenia się silnych superkomórek burzowych. Prędkość wiatru w strefie burzowej przekraczała 25 m/s, a w części północnej kraju nawet 30 m/s. Prawdopodobieństwo przewyższenia prędkości wiatru w porywach do 30 m/s na obszarze badań wynosi od 8,5% w Elblągu do 25,2% w Kaliszu [Lorenc 2012]. W analizowanej sytuacji prędkość wiatru w Wielkopolsce była niższa niż na Pomorzu. Jednak należy zwrócić uwagę, że „przeciętne” wichury mogą spowodować większe przestrzenne straty i charakteryzować się dużą lokalną intensywnością [Stucki i in. 2014]. Straty w drzewostanach wystąpiły w lasach o różnym składzie gatunkowym oraz strukturze i mogą okazać się nieco większe i bardziej złożone niżby wynikało ze wstępnych oszacowań, co zostało potwierdzone we wcześniejszych badaniach [Xi, Peet 2011]. Z uwagi na dużą skalę i intensywność niekorzystnych zjawisk pogodowych, które wystąpiły w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku, huraganowe wiatry w Borach Tucholskich spowodowały straty w drzewostanach, jakie dotąd nie były w tym rejonie rejestrowane [Kościński 2007]. Większość nadleśnictw objętych stratami huraganowymi znajdowała się w grupie średniego lub małego zagrożenia drzewostanów przez wiatr [Dmyterko i in. 2015]. Biorąc pod uwagę porywy wiatru (przekraczające w niektórych miejscach północnej Polski 40 m/s) i odporność drzew na działanie dynamiczne wiatru, straty mogły obejmować większość drzewostanów [Colin i in. 2009]. Dodatkowym czynnikiem, który mógł wpłynąć na zwiększenie wrażliwości drzew na silny wiatr, mogły być cięcia prowadzone w ciągu ostatnich 2 lat [Zachara 2006; Colin, Riou-Nivert 2009; Bruchwald, Dmyterko 2012a].

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 występowania szkwałów i trąb powietrznych [Walczakiewicz i in. 2011; Lorenc 2012]. Według prognoz dla Niemiec [Panferov i in. 2009] łączne oddziaływanie wzrostu prędkości wiatru, temperatury powietrza oraz zmiany dostępności wody w glebie spowoduje w kolejnych latach zwiększenie ryzyka uszkodzeń drzewostanów (szczególnie świerkowych). Z uwagi na zachodzące zmiany klimatu celowe wydaje się określenie dla poszczególnych nadleśnictw ryzyka zagrożenia silnym wiatrem z uwzględnieniem cech drzewostanu [Dmyterko, Bruchwald 2014; Zięba i in. 2016] oraz genezy i częstości występowania skrajnie wysokich prędkości wiatru [Lorenc 2012]. Niekorzystne lokalne zjawiska pogodowe mogą nie posiadać odniesienia w wynikach pomiarów na stacjach meteorologicznych. W takiej sytuacji ich intensywność oceniać można jedynie na podstawie stwierdzonych w terenie skutków ich działania. Przy określeniu zasięgu strat spowodo-

wanych silnym wiatrem pomocne są obrazy satelitarne [Ciesielski i in. 2016]. Gdy powierzchnia wymagająca odnowienia po huraganowych wiatrach jest tak duża jak w przypadku sytuacji z 11-12 sierpnia 2017 roku, proces ten będzie długotrwały i złożony [Zajączkowski 1991].

Wnioski

- ✦ Przyczyną strat w drzewostanach środkowo-zachodniej Polski w dniach 11-12 sierpnia 2017 roku było zafalowanie frontu oraz rozwój komórek i superkomórek burzowych przemieszczających się od południowej Wielkopolski w kierunku Pomorza Gdańskiego.
- ✦ Porywy wiatru w północnej części pasa dotkniętego stratami w lasach przekraczały 33 m/s (VI klasa prędkości wiatru), co pozwala sklasyfikować tę sytuację jako huraganową.
- ✦ W warunkach huraganowych wiatrów stratami obejmowane były wszystkie drzewostany, niezależnie od ich składu gatunkowego.
- ✦ Ze względu na istniejący i potencjalny udział lasów w sekwestracji węgla, ochronie różnorodności biologicznej i zasobów wody oraz łagodzeniu skutków zmian klimatu wskazane jest stworzenie w celach operacyjnych klasyfikacji zjawisk niebezpiecznych dla gospodarki leśnej, w tym również skrajnych prędkości wiatru, z uwzględnieniem prawdopodobieństwa ich wystąpienia i możliwych skutków.

Literatura

- Arażny A., Przybylak R., Vízi Z., Kejna M., Maszewski R., Usecka-Kowalkowska J. 2007. Mean and extreme wind velocities in Central Europe 1951-2005 (on the basis of data from NCEP/NCAR Reanalysis Project). *Geographia Polonica* 80 (2): 69-78.
- 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 nadleśnictwa Puszczy Białowieskiej. *Sylvan* 156 (10): 750-764.
- Ciesielski M., Bałazy R., Hycza T., Dmyterko E., Bruchwald A. 2016. Szacowanie szkód spowodowanych przez wiatr w drzewostanach przy wykorzystaniu zobrażeń satelitarnych i danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. *Sylvan* 160 (5): 371-377.
- Colin F., Riou-Nivert P. 2009. Relations entre résistance au vent, descripteurs du peuplement et sylviculture. *Innovations Agronomiques* 6: 39-49.
- Colin F., Vinkler I., Riou-Nivert P., Renaud J. P., Hervé J. C., Bock J., Piton B. 2009. Facteurs de risque dans les peuplements forestiers: les leçons des tempêtes des 26 et 27 décembre 1999. W: Birot Y., Landmann G., Bonhème I. [red.]. *La forêt face aux tempêtes*. Coll. Synthèses, Quae Editions Paris. 177-228.
- Cullen S. 2002. Trees and wind: wind scales and speeds. *Journal of Arboriculture* 28 (5): 237-242.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2014. Nowy wariant modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. *Sylvan* 158 (8): 571-578.
- Dmyterko E., Mionskowski M., Bruchwald A. 2015. Zagrożenie lasów Polski na podstawie modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. *Sylvan* 159 (5): 361-371.
- Dotzek N. 2009. Derivation of physically motivated wind speed scales. *Atmospheric Research* 93: 564-574.
- 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.
- Guy C. 2003. Occurrence of maximum wind speeds in Poland and their effects. IMGW, Warszawa i Guy Carpenter Instrat, Londyn.
- Konopka B., Zach P., Kulfan J. 2016. Wind – an important ecological factor and destructive agent in forests. *Lesn. Cas. For. J.* 62: 123-130.
- Koziński G. 2007. Model przestrzenny szkód wywołanych przez wiatr w drzewostanach Borów Tucholskich. Rozprawa doktorska. Wydział Biologii i Nauk o Ziemi UMK, Toruń.
- Kundzewicz Z., Mateczak P. 2010. Zagrożenie naturalnymi zdarzeniami ekstremalnymi. *Nauka* 4: 77-86.
- Lisowski A. 1993. Skutki występowania wybranych zagrożeń naturalnych i ich percepcja w Polsce. Wyd. UW, Warszawa.

- Lorenc H. 2012. Maksymalne prędkości wiatru w Polsce. IMGW, Warszawa.
- Marshall B. J. 1998. Wind flow structures and wind forces in forest. University of Oxford.
- Niedźwiedz T. [red.]. 2003. Słownik meteorologiczny. IMGW, Warszawa.
- 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.
- Parczewski W. 1960. Klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru w zastosowaniu do opracowań klimatycznych i bioklimatycznych. *Prz. Geofiz.* 3: 117-122.
- Parfiniewicz J. W. 2009. Tornado w rejonie Częstochowy – 20 lipca 2007. Część I: Analiza synoptyczna. *Prz. Geofiz.* 3-4: 147-159.
- Peterson C. 2000. Catastrophic wind damage to North American forest and the potential impact climate change. *The Science of the Total Environment* 262: 287-311.
- 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.
- Sulikowska A., Wypych A., Woszczek I. 2016. Fale upałów latem 2015 roku i ich uwarunkowania cyrkulacyjne. *Badania Fizjograficzne 7 A (Geografia Fizyczna A67)*: 205-223.
- Thürig E., Hagedorn F., Lindroth A. 2013. Influence of storm damage on the forest carbon balance. W: Gardiner B., Schuck A., Schelhaas M., Orazio C., Blennow K., Nicoll B. [red.]. *Living with Storm Damage to Forests European Forest Institute.* 47-54.
- Tomczak A., Jelonek T., Jakubowski M. 2012. Zmiany w budowie i właściwościach drewna jako efekt oddziaływania wiatru na drzewa. *Sylvan* 156 (10): 776-783.
- Trzaskowski S. 2002. Po huraganie. *Aura* 10: 6-8.
- Walczakiewicz S., Ostrowski K., Surowiecki A. 2011. Warunki synoptyczne występowania trąb powietrznych w Polsce w latach 2001-2010. *Geo-Symposium Młodych Badaczy Silesia, 19-21 X 2011, Cieszyn.* 43-52.
- Xi W., Peet R. K. 2011. The Complexity of catastrophic wind impacts on temperate forests. W: Lupo A. [red.]. *Recent hurricane research – climate, dynamics, and societal impacts.* In Tech Shanghai. 503-534.
- 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.
- Zięba S., Doleżuchowicz M., Banaś J., Bujoczek L. 2016. Ocena funkcjonowania modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanów przez wiatr w górach na przykładzie Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Sylvan* 160 (5): 378-387.
- Żelazny M., Siwek J. P., Fidelus J., Stańczyk T., Siwek J., Rutkowska A., Kruk P., Wolanin A., Jelonkiewicz Ł. 2017. Wpływ wiatrolomu i degradacji drzewostanu na zróżnicowanie chemizmu wód w zlewni Potoku Kościeliskiego w obszarze Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Sylvan* 161 (1): 27-33.