



Zniszczenia w lasach sudeckich pod wpływem orkanu Cyryl (18–19.01.2007 r.) – implikacje historyczne i regionalne

*Forest damage in the Sudety Mts. caused by the Kyrill storm
(18–19.01.2007) – historic and regional implications*

ŁUKASZ PAWLIK

Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski,
50-137 Wrocław, pl. Uniwersytecki 1; lukasz.pawlik@uni.wroc.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono analizę zniszczeń w drzewostanach sudeckich spowodowanych przez wiatr genety cyklonalnej. Obszar badań obejmuje 16 nadleśnictw w obrębie polskiej części Sudetów. Wnioskowanie przeprowadzono na tle informacji o gospodarczym wykorzystaniu lasów sudeckich, historii zniszczeń w drzewostanach w wyniku uderzenia silnego wiatru oraz danych ilościowych na temat ilości drewna pozyskanego podczas czyszczeń sanitarnych po przejściu orkanu Cyryl w 2007 r. Szkody spowodowane przez opisany epizod silnego wiatru były wyjątkowe w skali dziesięciolecia 2001–2010, a największe straty zanotowano w Sudetach Środkowych, w nadleśnictwach Kamienna Góra, Wałbrzych i Jugów. Jednakże biorąc pod uwagę dane z XX w. dla Polski i Europy stwierdza się, że tego typu zjawiska są stałym zagrożeniem dla lasów umiarkowanej strefy klimatycznej. Wynika to m.in. ze znacznego ich przekształcenia przez człowieka.

Słowa kluczowe: orkan Cyryl, Sudety, wiatrował, zniszczenia, lasy, nadleśnictwo.

Wstęp

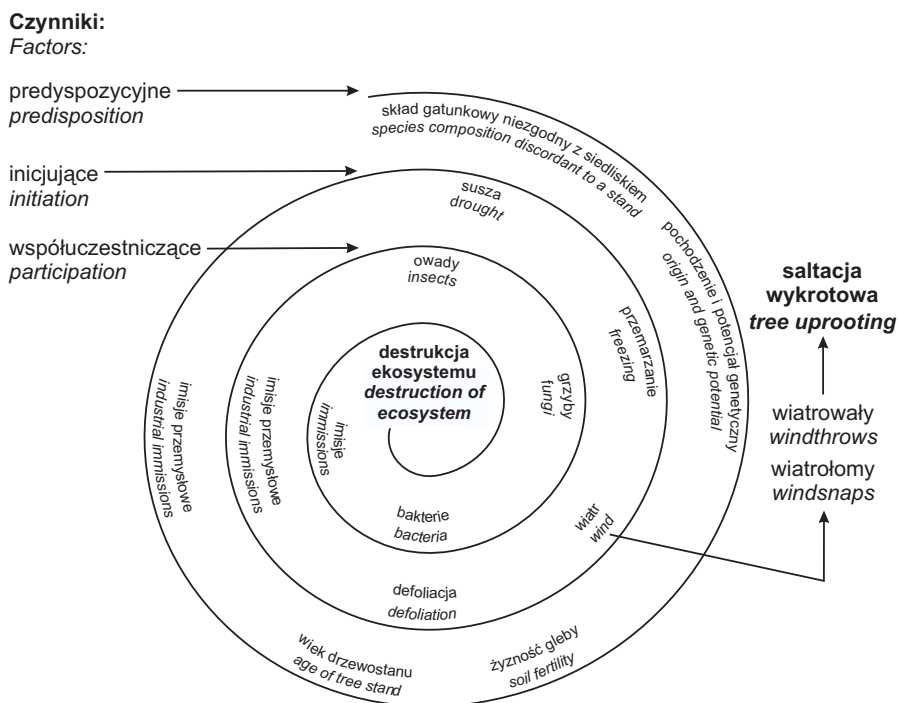
Rok 2011 Organizacja Narodów Zjednoczonych ogłosiła Międzynarodowym Rokiem Lasów. Jest to jeden ze sposobów zwrócenia uwagi na wciąż aktualny i bardzo ważny aspekt ochrony, zachowania bioróżnorodności oraz podstawowych funkcji ekosystemów leśnych. W zagadnieniach tych szczególną rangę zyskują zjawiska biotyczne i abiotyczne, o często negatywnych konsekwencjach dla drzewostanów. Do zjawisk abiotycznych należy np. powalanie lub łamanie drzew przez wiatr, notowane w granicach nadleśnictw i obrębów leśnych praktycznie corocznie. Takie zniszczenia zdarzają się jednorazowo w obrębie większego regionu fizycznogeograficznego (np. Sudetów) raz na kilkanaście lub kilkadziesiąt lat i często nabierają charakteru katastrofy naturalnej. W Europie najczęściej dotyczą one lasów silnie przekształconych przez człowieka.

Warto tu zwrócić uwagę na pewną rozbieżność w rozumieniu pojęcia „katastrofa”. To co w kategoriach gospodarczych jest uważane za katastrofę i zaliczane w poczet strat finansowych – na przykład pożar czy wiatrował, w relacji do ekosystemów leśnych jest całkowicie naturalnym i czasami wręcz pożądanym zjawiskiem. Zwracają na to uwagę m.in. M.G. Kramer i inni (2001), stwierdzając przy tym, że w dziedzinie ekologii lasu jest to dość dobrze rozpoznane zagadnienie. Podkreśla się także, że pożary, czy też analizowane tu rozległe zniszczenia pohuraganowe w postaci wiatrowałów często decydują o bioróżnorodności obserwowanej na terenach zalesionych (Ulanova, 2000), z zaznaczeniem jednak, że po takich zdarzeniach proces naturalnej sukcesji roślinności może być bardzo powolny (Schönenberger, 2002).

W literaturze dotyczącej zakresu i skali zagrożeń względem lasów w Europie stwierdza się, że szkody w postaci wiatrowałów i wiatrołomów stanowią ponad 50% ogółu szkód biotycznych i abiotycznych (Schelhaas i inni, 2003; Gardiner i inni, 2010). Jeden z bardziej znanych przykładów wiatrowału to *Velká kalami-ta* (Wielka katastrofa) w Tatrach Słowackich, związany z tzw. „tatrzańską borą” o sile huraganu (orkanu, prędkość $>33 \text{ m s}^{-1}$), która w 2004 r. zdziesiątkowała las po słowackiej stronie Tatr (ponad 12 000 ha lasu, około 1/4 powierzchni leśnej TANAP-u¹) (Balon i Maciejowski, 2005; Kareň, 2006; Zielonka i Malcher, 2009; Dąbrowska, 2009). Podobnie jak w Tatrach, lasy sudeckie były wielokrotnie niszczone przez porywy wiatru o sile huraganu – pierwsza wzmianka na ten temat pochodzi z okresu średniowiecza (Margas i Szymczak, 1969). Inna „wielka katastrofa”, przybrała w XIX i XX w. postać masowej wycinki lasów. Na ich miejsce wprowadzono monokultury świerkowe. Z racji ograniczonych zasobów lokalnych, świerk pospolity (*Picea abies*) zastępowany był zazwyczaj sadzonkami i nasionami obcego pochodzenia (Modrzyński, 1984). Zmiana struktury drzewostanów sudeckich niewątpliwie wpłynęła na ich późniejsze masowe wymieranie w latach 1970. i 1980. wskutek emisji zanieczyszczeń przemysłowych (Mazurski, 2008) oraz szkody w wyniku działania czynników różnej genezy (np. klimatycznych). Zwieńczeniem wieloletnich badań nad zagrożeniami natury abiotycznej i biotycznej jest ich syntetyczne ujęcie w postaci modelu „choroby spiralnej lasów” (Zientarski i inni, 1994) – rycina 1.

Celem artykułu jest dokumentacja i analiza zniszczeń w drzewostanach sudeckich spowodowanych uderzeniem huraganowego wiatru podczas cyklonu Cyryl w styczniu 2007 r., a także częstości i intensywności zniszczeń pohuraganowych w Sudetach oraz odniesienie ich do podobnych zdarzeń w Tatrach i Europie. Tłem rozważań są informacje na temat historii wiatrowałów sudeckich w kontekście antropogenicznego przekształcenia i gospodarczego wykorzystania lasów.

¹ Tatraský národný park.



Ryc. 1. Model „choroby spiralnej lasów” z uwzględnieniem procesu saltacji wykotowej
Na podstawie: Zientarski i inni, 1994, zmienione.

Model of “spiral disease of forests” with the factor of tree uprooting also taken account of
Based on: Zientarski *et al.*, 1994, as amended.

Antropogeniczne przekształcenia lasów sudeckich

Aby lepiej zrozumieć kondycję dzisiejszych drzewostanów sudeckich oraz ich podatność na różne czynniki biotyczne i abiotyczne, należy przyjrzeć się historii ich gospodarczego wykorzystania, częstokroć przybierającego postać powszechnej dewastacji (Nyrek, 1975, 1992).

Przed wkroczeniem człowieka na obszar Sudetów były one prawie w całości pokryte lasem (mapa w: Wittig, 1942/1943, s. 19; Zientarski i inni, 1994). Lasy regla dolnego składały się z drzewostanów mieszanych bukowo-jodłowo-świerkowych w Górach Izerskich, Karkonoszach, Masywie Śnieżnika i Wysokim Jesioniku. W reglu górnym drzewostan przechodził w świerczyny, a następnie w najwyższych partiach Karkonoszy i Gór Izerskich – w kosodrzewinę. W Górach Orlickich kwaśne buczyny sięgały aż do wysokości grzbietów (Peřina i Samek, 1958). Począwszy od IX w. wylesienia związane były z rozwojem górnictwa w Karkonoszach. W XIII i XIV w. planowa kolonizacja terenów sudeckich oraz

rozwój górnictwa rud metali kolorowych – miedzi i cyny, działalność wapienników do wypalania wapna, popielarstwo i produkcja potażu, przyczyniły się do wycinania najcenniejszych gatunków liściastych, takich jak buk i jawor (Peřina i Samek, 1958; Wilczkiewicz, 1982). Powierzchnie leśne kurczyły się również na rzecz terenów pastwiskowych (wypas owiec) i gruntów rolnych (uprawa lnu), z czym związany był rozwój sukiennictwa wełnianego i tkactwa lnianego (Peřina i Samek, 1958; Wilczkiewicz, 1982). Ogromne obszary wierzchowiny Karkonoszy uległy do połowy XIX w. оголоczeniu z kosodrzewiny i powstały sztuczne hale, np. Równia pod Snieżką i pod Łabskim Szczytem (Wilczkiewicz, 1982). W związku z szybką destrukcją drzewostanów pierwsze informacje na temat deficytu drewna pochodzą już z połowy XIV w. (Wilczkiewicz, 1982). [Dla porównania: lasy górnośląskie ze względu na szybki wzrost zaludnienia już w XVI w. były silnie przetrzebione (Nyrek, 1975)]. Do końca XVIII w. obszar lasów sudeckich zmniejszył się o ponad połowę w stosunku do pierwotnego stanu. Wycięte zostały w większości lasy łęgowe, dębowo-grabowo-bukowe, dąbrowy dębu szypułkowego oraz duża część drzewostanów bukowo-jodłowych, a podczas zalesiania np. halizn w Karkonoszach wprowadzano lite świerczyny (Wilczkiewicz, 1982). Pierwotne drzewostany w Karkonoszach, Górach Izerskich i Orlickich, złożone ze świerka karkonoskiego (*Picea excelsa corcontica*), zostały zastąpione przez świerk pospolity (*Picea abies*) różnego pochodzenia (Peřina i Samek, 1958). Odmienne niż w okresach wcześniejszych, w XIX w. buk traktowany był jak chwast leśny o małej wartości surowcowej i wypierany z lasów górskich wszędzie, gdzie tylko istniała możliwość wprowadzenia gatunków o wyższej wartości surowca i lepszej cenie na rynkach światowych (Szymański i Zientarski, 1993). W obszarach pozyskiwania węgla, w Wałbrzychu i Nowej Rudzie, świerk był bardzo poszukiwany, ponieważ jego drewno miało wszechstronne zastosowanie, przede wszystkim na kopalniaki (Wilczkiewicz, 1982).

Drastyczne zmiany spowodowane przez człowieka w ciągu 120 lat sprawiły, że w składzie gatunkowym lasów sudeckich zaczął dominować świerk – jego udział wzrósł z 30% w 1834 r. do 95,5% w 1952 (Zoll, 1962); w roku 2008 wynosił 72%. Już w XVIII w. świerk był gatunkiem przeważającym na obszarze Sudetów, występującym w drzewostanach mieszanych z dużym udziałem jodły. W wyniku rabunkowej gospodarki leśnej, chcąc osiągnąć najwyższą rentę gruntową, przystąpiono do sztucznego odnawiania drzewostanów. Wpływały na to również słabe wyniki samosiewów. W takiej sytuacji, aby pokryć duże zapotrzebowanie na drewno świerka, zaczęto sprowadzać jego nasiona od wiedeńskich firm handlujących nasionami. Pochodziły one jednak z regionów o odmiennym klimacie – np. z Harcu, Turyngii i Pomorza (Zoll, 1958; Wilczkiewicz, 1974, 1982), a nawet obszarów nizinnych (Mazurski, 1987). W Niemczech sztuczny siew na dużą skalę stosowano już w 1840 r.; w Karkonosze nasiona obcego pochodzenia sprowadzono po raz pierwszy prawdopodobnie dopiero w 1869 r. (Modrzyński, 1984). Jak stwierdza A. Nyrek (1975), pruskie metody zarządzania

i zagospodarowania lasu z przełomu XVIII i XIX w. wyraźnie sprzyjały powstawaniu drzewostanów jednolitych pod względem wieku i gatunku. Jednocześnie już w XIX w. uświadamiano sobie skalę problemu i inicjowano pewne działania na rzecz odbudowy pierwotnej struktury drzewostanów sudeckich. Przemawiały za tym przede wszystkim masowe pogromy drzewostanów świerkowych wskutek niekorzystnych zjawisk klimatyczno-meteorologicznych oraz coraz częstsze gradacje owadów (Nyrek, 1992, s. 141).

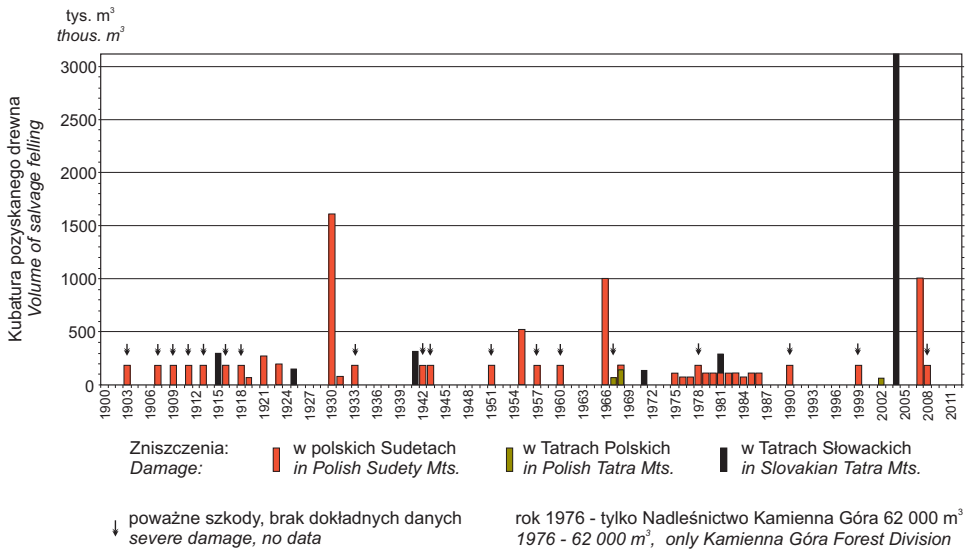
Szkody powstałe w wyniku huraganowego wiatru w lasach sudeckich w ujęciu historycznym

Dokumentacja wskazująca na zniszczenia w drzewostanach sudeckich pod wpływem silnego wiatru jest niepełna i podobnie jak w przypadku innych katastrof naturalnych dotyczy jedynie tych najbardziej spektakularnych, bezpośrednio wpływających na środowisko przyrodnicze i/lub życie dużej części mieszkańców regionu. Jedną z pierwszych informacji na temat wiatrowału w Sudeciech (Karkonosze) pochodzi z 1363 r., kiedy to „(...)Wiatr wyrwał z korzeniami drzewa i przerzucił kilkanaście metrów dalej. Wśród drzewostanu wyrządził „krwawe żniwo” (...)” (Margas i Szymczak, 1969). Można tylko przypuszczać, że tego typu zjawiska pojawiały się o wiele częściej, co najmniej kilka razy w ciągu stu lat, o czym świadczą dane historyczne z obszaru Republiki Czeskiej (Brázdil i inni, 2004). O wiele lepiej udokumentowane są zniszczenia w drzewostanach notowane już po wprowadzeniu planowanej gospodarki leśnej pod koniec XVIII w., przede wszystkim z powodu konieczności inwentaryzacji zasobów leśnych i opracowania planów zagospodarowania lasu. Przeciętnie 1/5 masy drewna pozyskanego z lasów sudeckich za czasów administracji niemieckiej pochodziła z wiatrowałów, wiatrołomów, śniegołomów oraz z drzew uszkodzonych przez okiść (Zoll, 1958, 1962).

W drugiej połowie XX w. wielokrotnie zwracano uwagę na rolę wiatru w przekształcaniu sudeckiego drzewostanu świerkowego, który w trudnych warunkach górskich okazał się mało na niego odporny (Bugajski i Nowiński, 1983; Stanowski, 1984; Sobik i Błaś, 2010). Najczęściej wymieniane lata powstania rozległych szkód, to 1930, 1955 i 1966. W ujęciu regionalnym podkreśla się, że szkody powstawały okresowo w Sudetach Wschodnich, natomiast nieco rzadziej, lecz z większą intensywnością, w Zachodnich (Stanowski, 1984). Największe straty zanotowano w Karkonoszach i Górach Izerskich (Zoll, 1958; Wilczkiewicz, 1974), często wręcz wskazuje się Karkonosze jako najbardziej narażony na zniszczenia obszar Sudetów (Jewuła, 1974; Brázdil, 1998). Przykładowo 4 i 5 listopada 1966 r. w wyniku huraganowego fenu powaleniu uległy w Karkonoszach drzewostany świerkowe na łącznej powierzchni około 215 ha, z masą grubizny blisko 50 000 m³, nie licząc mniejszych strat w drzewostanach porastających niższe partie gór. Łącznie masa grubizny wywalonych drzewosta-

nów w tych dniach wyniosła w Nadleśnictwie Śnieżka około 100 000 m³ (*Plany urządzenia lasu...*, 1945–2011). Podobną wartość zanotowano w roku 2007 po południowej stronie Karkonoszy (Mazurski, 2008).

Ostatecznie można stwierdzić, że lasy sudeckie były wielokrotnie niszczone przez wiatr i szadź, a katastrofalne następstwa tych zjawisk zanotowano w latach: 1868, 1869, 1897, 1903, 1907, 1911, 1916, 1918, 1921, 1930, 1931, 1955, 1966, 1966–1968, 1976 (Bugajski i Nowiński, 1983; Capecki i Zwoliński, 1984; Stanowski, 1984) – rycina 2.



Ryc. 2. Dated episodes of strong wind in the Sudety and Tatra Mts. between 1900 and 2011
 Dated episodes of strong wind in the Sudety and Tatra Mts. between 1900 and 2011
 Opracowanie własne. / Author's own compilation.

Cyklon Cyryl

Jednym z bardziej katastrofalnych zjawisk meteorologicznych w ostatnich latach w Sudetach był cyklon Cyryl. Warto jednak podkreślić, że nie było to jedyne tego typu zdarzenie w Europie w 2007 r. 14 stycznia cyklon Per przeszedł przez centralny obszar Skandynawii, osiągając prędkość do 40 ms⁻¹ i wyrządzając poważne szkody w lasach Szwecji (12 mln m³ zniszczonych drzew) (Gardiner i inni, 2010).

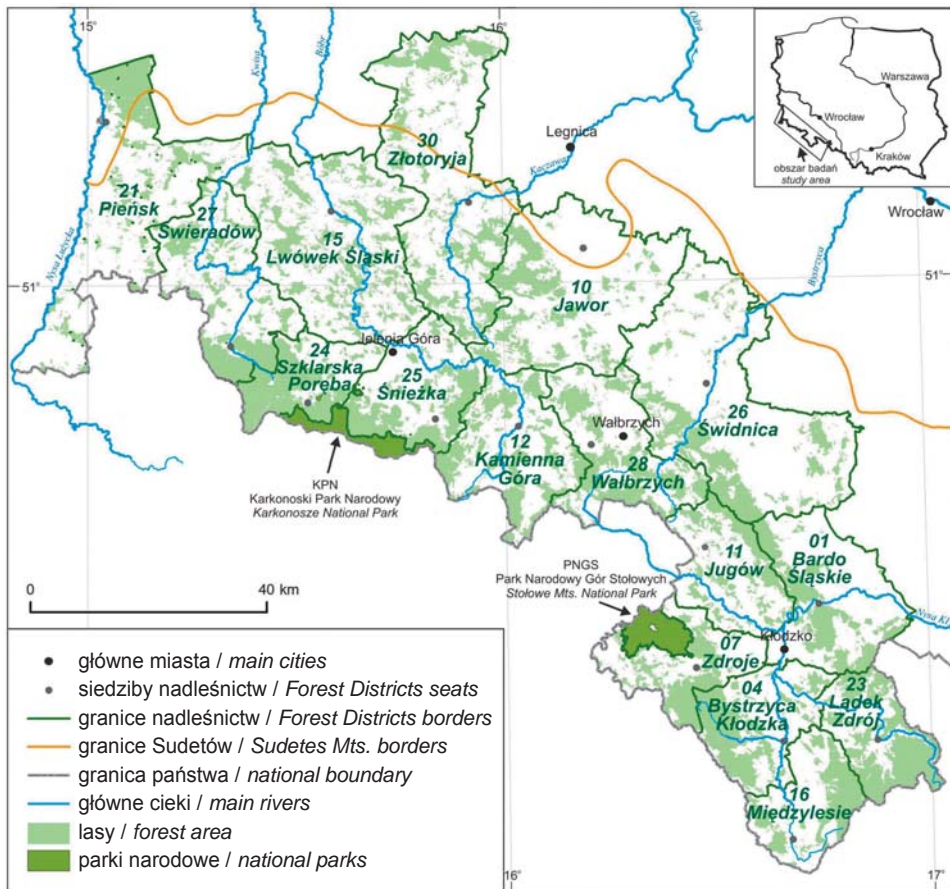
Orkan Cyryl pojawił się nad Nową Szkocją w Stanach Zjednoczonych i Nową Fundlandią w Kanadzie trzy dni przed uderzeniem w Europę i pogłębiał się w miarę przekraczania Oceanu Atlantyckiego wzdłuż 50 równoleżni-

ka. Największe prędkości wiatru zostały pomierzone w Niemczech. Tam zanotowano największe straty w drzewostanach, rzędu 1,1% całkowitego szacowanego krajowego zasobu drewna (ang. *national growing stock*) (Fink i inni, 2009). Pomędzy 14 a 18 stycznia 2007 r. cyklon Cyryl spowodował w Europie straty około 64,5 mln m³ powalonych drzew (Gardiner i inni, 2010). W całej Europie Środkowej powalił blisko 62 mln drzew, głównie świerków, w obrębie wyżyn Sauer i Siegerland w centralnych Niemczech (Fink i inni, 2009). Był to czwarty z najbardziej niszczycielskich orkanów w ostatnich 60 latach w Europie, ale jeden z dwóch uznanych za zdarzenia o randze europejskiej – obok orkanów Lothar i Martin z 1999 r., które spowodowały zniszczenia około 196,7 mln m³ – (Gardiner i inni, 2010). W Polsce prędkość wiatru wyniosła wtedy około 70 m s⁻¹ (tj. 250 km h⁻¹) w najwyższym punkcie Sudetów, na Śnieżce (1602 m npm.). W innych częściach Europy prędkość wiatru osiągała: w Wielkiej Brytanii 44 m s⁻¹, w Irlandii 41 m s⁻¹, w Holandii 36 m s⁻¹, a w obszarach górskich w Niemczech i Republice Czeskiej powyżej 50 m s⁻¹ (Gardiner i inni, 2010). Efektem tego było m.in. powalenie drzew po czeskiej stronie gór Szumawa o objętości 700 000 m³ (Kolejka i inni, 2010), po północnej stronie Karkonoszy 110 000 m³, a po południowej 7000 m³ na powierzchni większej niż 300 ha (Mazurski, 2008). W Polsce w wyniku orkanu zginęło 6 osób, a 36 zostało rannych. Według wstępnych szacunków w całym kraju uszkodzeniu uległy drzewa o łącznej kubaturze 3,7 mln m³, w tym 1,1 mln m³ na Dolnym Śląsku. Największe straty wystąpiły tam w nadleśnictwach Kamienna Góra (około 170 000 m³) oraz Wałbrzych (117 000 m³) (*Plany urządzania lasu...*, 1945–2011). Jak w większości krajów Europy Środkowej, świerk był tu głównym gatunkiem dotkniętym przez huraganowy wiatr.

Cyklon Cyryl został zaliczony do grupy 11 orkanów, które w okresie od 1950 do 2010 r. pociągnęły za sobą największe koszty finansowe, społeczne i ekologiczne w Europie (Gardiner i inni, 2010).

Obszar badań

Do szczegółowej analizy wybrano 16 nadleśnictw położonych w polskiej części Sudetów (bez Przedgórze Sudeckiego) będących pod nadzorem Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych we Wrocławiu (ryc. 3, tab. 1) o łącznej powierzchni 236 tys. ha. Wedle regionalizacji fizycznogeograficznej Polski analiza objęła Pogórze Zachodniosudeckie oraz Sudety Zachodnie, Środkowe i Wschodnie. W przypadku gdy granica nadleśnictwa wychodziła poza ten obszar (np. Nadleśnictwo Złotoryja), uwzględniano dane z całego nadleśnictwa. Dla obszaru parków przyjęto tylko dane szacunkowe, bez szczegółowego podziału na oddziały leśne. Wybór obszaru badań uzasadnia fakt, że największe zmiany w drzewostanach pod wpływem silnego wiatru mają miejsce w terenie górskim (Bruchwald i Dmyterko, 2010) o urozmaiconej rzeźbie i mozaikowej budowie geologicznej



Ryc. 3. Obszar badań według nadleśnictw

Nadleśnictwa wg zasięgu terenów leśnych; przy nazwach nadleśnictw numery zgodnie z przyjętym adresem leśnym. Opracowanie własne na podstawie Leśnej Mapy Numerycznej.

The study area with a breakdown by Forest Districts

Forest Districts are shown as polygons with forest cover; names being preceded by code numbers. Author's map based on the Forest Digital Map.

wpływającej na różne wykształcenie gleb i pokryw stokowych. Dodatkowym argumentem było zanotowanie bardzo dużych zniszczeń w drzewostanach właśnie w nadleśnictwach sudeckich, co w połączeniu z intensywnymi pracami leśnymi po cyklonie Cyryl pozostawiło trwały ślad w postaci wylesienia znacznych części niektórych nadleśnictw oraz degradacji podłoża w wyniku zarówno procesu saltacji wykrotowej, jak i późniejszych czyszczeń sanitarnych w obrębie stoków (zrywka drewna).

Tabela 1. Wybrane informacje na temat analizowanych nadleśnictw regionu sudeckiego
Selected information on the analysed Forest Districts of the Sudetic region

Oznaczenie nadleśnictwa wg adresu leśnego <i>Designation by code number of Forest District</i>	Nadleśnictwo <i>Name of Forest District</i>	Powierzchnia ¹ <i>Area (ha)</i>	Liczba oddziałów <i>Number of forest compartments</i>	Średnia powierzchnia oddziału <i>Mean area of forest compartment (ha)</i>	Udział świerka w drzewostanach wg powierzchni (%) <i>% occurrence of Norway spruce in stands, by area covered</i>
01	Bardo Śląskie	12 433	564	23,25	41,0
04	Bystrzyca Kłodzka	12 125	638	20,12	85,5
10	Jawor	13 920	579	25,50	34,5
11	Jugów	8 743	364	26,43	73,3
12	Kamienna Góra	15 267	681	22,96	85,6
23	Lądek Zdrój	15 998	733	22,98	87,1
15	Lwówek Śląski	17 772	705	26,59	33,3
16	Międzyzylesie	10 000	444	23,54	89,0
21	Pieńsk	15 769	632	26,86	8,6
24	Szklarska Poręba	13 412	730	19,50	86,6
25	Śnieżka	12 795	585	23,19	74,3
26	Świdnica	15 830	675	24,95	45,6
27	Świeradów	14 816	775	20,30	50,3
28	Wałbrzych	14 512	702	22,38	70,1
07	Zdroje	9 705	466	22,31	79,2
30	Złotoryja	18 412	736	26,40	22,0

¹ Grunty leśne zalesione. / Afforested forest land.

Zestawienie własne na podstawie planów urządzenia lasu nadleśnictw.

Author's own compilation based on management plans for Forest Districts.

Źródła, zakres danych i metody badań

Analiza opierała się na danych ilościowych wyrażonych w objętości (m³) powalonych drzew w wyniku przejścia nad Polską cyklonu Cyryl w dniach 18 i 19 stycznia 2007 r. Dane uzyskane z Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych we Wrocławiu obejmują lata 2007–2008. Rok 2008 przyjęto za podstawowy, wychodząc z założenia, że nie wszystkie powalone drzewa zdołano usunąć w roku wystąpienia cyklonu (W. Mazur, 2010 – informacja ustna). Przekazane dane nie były jednolite pod względem ich struktury, zawartości i formatu zapisu

cyfrowego. Główne różnice dotyczyły adresu leśnego² (adresy często były niepełne). W wielu przypadkach dane na temat zniszczeń podawane były dla każdego gatunku z osobna. Na tym etapie badań postanowiono nie uwzględniać tego rozróżnienia, ponieważ w większości nadleśnictw sudeckich dominującym gatunkiem jest świerk (w 10 na 16 przypadków, tab. 1). Niestety Lasy Państwowe nie prowadzą ewidencji szkód osobno dla wykrotów i złomów. Szkody te zawsze ewidencjonowane są razem i tylko w jednym przypadku (Nadleśnictwo Zdroje) otrzymano informacje z podziałem na objętość pozyskanego drewna ze złomów i wykrotów.

Przeanalizowano archiwalne plany urzędzenia lasu nadleśnictw sudeckich, sięgające lat 1950. Przejrzano łącznie 34 elaboraty, zwracając szczególną uwagę na historię zagospodarowania lasów oraz zanotowane większe szkody w postaci wiatrowałów i wiatrolomów. Dodatkowe informacje uzyskano z biuletynów informacyjnych nadleśnictw sudeckich zamieszczonych w Internecie. Dane na temat cyklonów skonfrontowano z bazą Europejskiego Instytutu Leśnictwa, w której w 2010 r. pojawił się końcowy raport oraz katalog z ponad 130 zarejestrowanymi na obszarze Europy cyklonami ostatnich 60 lat (Gardiner i inni, 2010).

Przeprowadzono prostą eksplorację danych, w celu uchwycenia zależności pomiędzy takimi zmiennymi jak: objętość pozyskanego drewna z jednostki oddziału leśnego w zależności od wysokości npm. oraz nachylenia stoków. Na zaprezentowanych mapach podział na klasy został przeprowadzony zgodnie z metodą naturalnych prześwitów – punktów przełamania – Jenksa. Dzięki temu została zminimalizowana suma kwadratów odchyłeń wartości w danej klasie od jej średniej w obrębie zadanej liczby klas. Do tworzenia wykresów posłużono się programem statystycznym R, natomiast wizualizację kartograficzną przeprowadzono w programie ArcGIS 9.2 firmy ESRI.

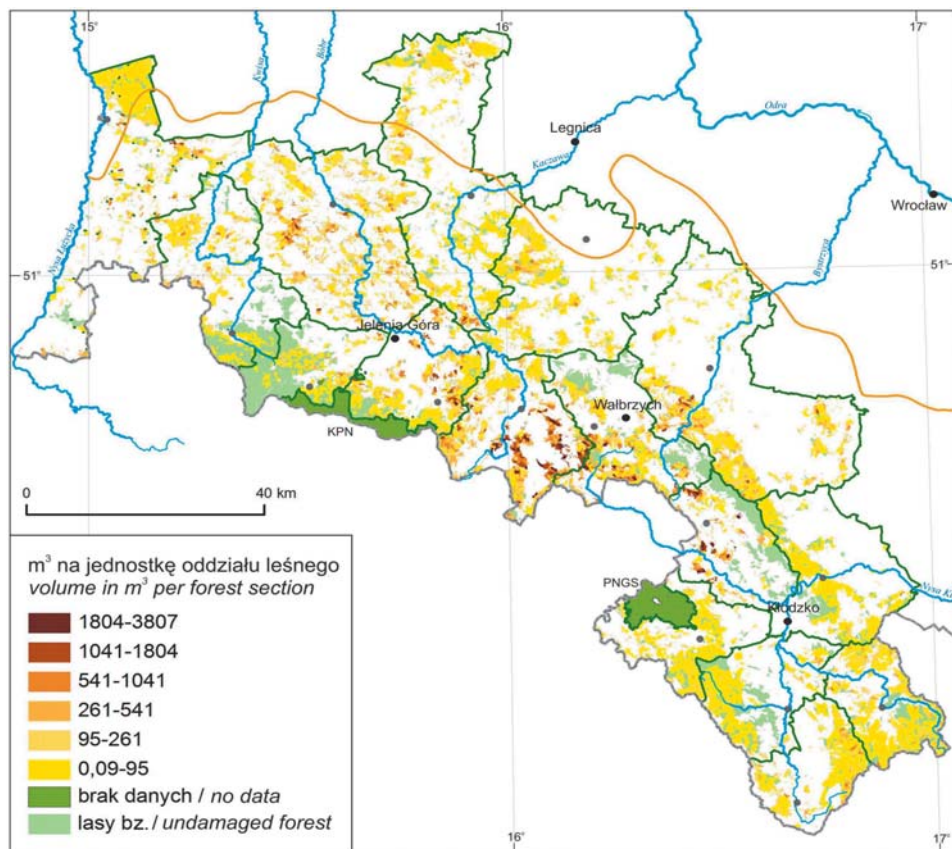
Użyto warstwy wektorowej z granicami 16 nadleśnictw sudeckich w układzie UTM oraz danych na temat ilości pozyskanego drewna z każdego wydzielenia leśnego (najmniejszej jednostki podziału lasów o średniej powierzchni 2,5 ha). Mapę wektorową zgeneralizowano przechodząc od wydzieleni leśnych (dla przyjętych 16 nadleśnictw było to 92 799 wydzieleni leśnych) do jednostki oddziału ($n = 10\ 059$, przy średniej powierzchni 23 ha) (tab. 1). Na tym etapie badań taki poziom szczegółowości przyjęto za wystarczający.

Rezultaty – analiza zniszczeń

W 16 analizowanych nadleśnictwach w roku 2007 i 2008 w sumie pozyskano 1,1 mln m³ drewna z drzew zniszczonych przez orkan Cyryl. W 2007 r. najwięcej drewna pozyskano z nadleśnictw Sudetów Środkowych (Kamienna Góra,

² Adres leśny składa się z następujących informacji zapisanych w kodzie numerycznym: region-nadleśnictwo-obręb-oddział-leśnictwo-pododdział-wydzielenie leśne (np. 1-23-2-65-a-00).

Wałbrzych i Jugów). Podobnie było w roku 2008, co świadczy o nieusunięciu wszystkich zniszczonych drzew w ciągu jednego roku gospodarczego (ryc. 4). Zdołano to natomiast uczynić w Sudetach Zachodnich oraz części Ziemi Kłodzkiej. Biorąc pod uwagę wartości bezwzględne dla obu tych okresów, duże straty poniosło również nadleśnictwo Świdnica (0,15 mln m³).



Ryc. 4. Pozyskanie drewna z nadleśnictw sudeckich w 2007 i 2008 r.
(PNGS – Park Narodowy Gór Stołowych, KPN – Karkonoski Park Narodowy)

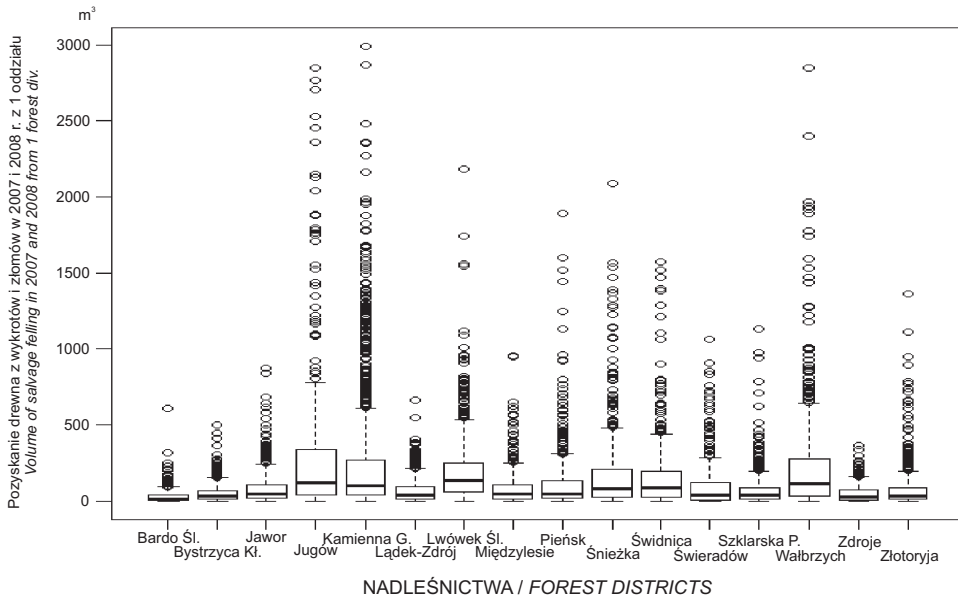
Volume of salvage logging in the Sudetic Forest Districts in 2007 and 2008.
(PNGS – Stołowe Mts. National Park, KPN – Karkonosze National Park)

Jedną z bardziej zauważalnych różnic pomiędzy analizowanymi latami są duże zniszczenia w Nadleśnictwie Złotoryja w 2008 r., co może być efektem pojawienia się orkanów Paula (26/27.01.2008) i/lub Emma (29.02–2.03.2008). Innym prawdopodobnym czynnikiem jest przybywanie nowych wywrotów wśród drzew o wcześniej tylko naderwanych systemach korzeniowych, które łatwo poddają

się podmuchom wiatru. Zaobserwowano to np. w Parku Narodowym Gór Stołowych w 2007 r. w drzewostanach, gdzie wcześniej, czyli bezpośrednio po orkanie Cyryl, nie notowano wykrotów drzew (*Archiwum PNGS*).

Biorąc pod uwagę wszystkie analizowane nadleśnictwa, średnio pozyskano 122 m³ drewna z jednego oddziału leśnego w 2007 (3,3 m³ ha⁻¹) oraz 72 m³ w 2008 r. (1,3 m³ ha⁻¹). Dla obu tych okresów średnia wyniosła 145 m³ z jednego oddziału leśnego (4,6 m³ ha⁻¹). Najwięcej drewna (do 189 m³ ha⁻¹) pozyskano w nadleśnictwach Kamienna Góra, Wałbrzych i Jugów. Podczas orkanu Cyryl na 78% powierzchni wszystkich lasów w granicach analizowanych 16 nadleśnictw zanotowano pozyskanie drewna rzędu co najmniej 0,1 m³ na każdy oddział leśny. Pozyskanie powyżej 500 m³ drewna z oddziału leśnego dotyczyło 6,2% powierzchni wszystkich lasów, a 4,8% powierzchni z drzewostanami, które w jakimś stopniu zostały zniszczone – w sumie około 11 000 ha.

Objętość pozyskanego drewna na jednostkę oddziału leśnego w 2007 i 2008 r. w bardzo wielu wypadkach odbiega od wartości średniej (ryc. 5). Jednocześnie większość wartości skupia się w przedziale od 0 do 500 m³ z oddziału, co wskazuje na bardzo dużą lewostronną skośność rozkładu wartości. Na wykresach pudełkowych dla wszystkich nadleśnictw notowane są wartości odstające, położone poza wartością górnego „wąsa”, definiowaną jako 1,5 rozstępu ćwiart-



Ryc. 5. Wykresy pudełkowe dla sumy zniszczeń w drzewostanach z lat 2007 i 2008 dla poszczególnych nadleśnictw

Box-plots summarizing damage done to stands in 2007 and 2008, for each of the analysed Forest Districts

kowego (IQR) od miary trzeciego kwartyła (Q3) (ryc. 5). Największy rozrzut w 2007 r. zanotowano w nadleśnictwach Jugów, Kamienna Góra i Wałbrzych, natomiast w 2008 już tylko w Nadleśnictwie Kamienna Góra. Prawdopodobnie ma to związek nie tylko z rzeczywistą skalą szkód, ale również z technicznymi możliwościami usunięcia zniszczonych drzew.

Aby sporządzić wykresy przedstawiające zależność objętości pozyskanego drewna od wysokości i nachylenia, wyeliminowano wartości równe 0 (2473 obserwacje). Linia na obu wykresach jest linią trendu wyznaczoną metodą najmniejszych kwadratów (ang. *least-squares line*). W obu przypadkach widoczny jest brak zależności pomiędzy zmiennymi, na co wskazuje również współczynnik korelacji liniowej Pearsona $r = 0,03$.

Dyskusja

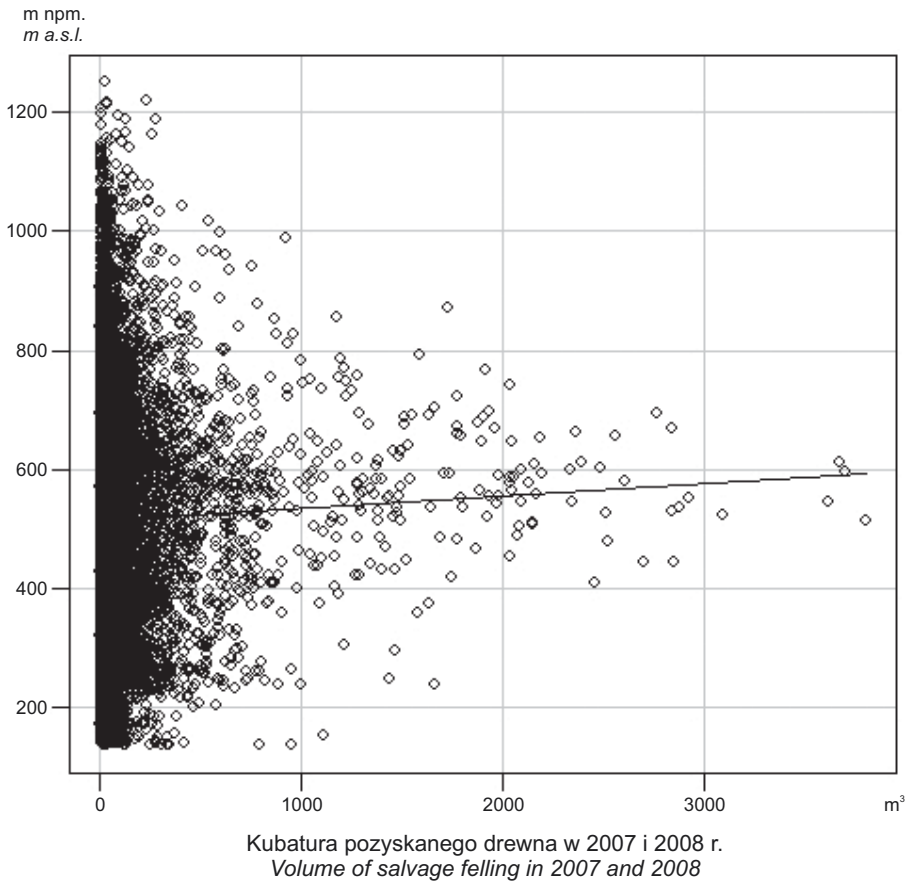
Wśród czynników meteorologicznych mających wpływ na lasy podkreślana jest szczególna ranga cyklonów pozazwrotnikowych (orkanów), jako tych epizodów silnego wiatru w zasięgu strefy klimatu umiarkowanego, które niosą ze sobą największą potencjalną siłę niszczącą (Gardiner i inni, 2010). Orkany obejmują obszary o powierzchni rzędu setek i tysięcy km² (Sobik i Błaś, 2010). Dane historyczne wskazują, że epizody wiatru o sile huraganu, w tym przede wszystkim cyklony chłodnej pory roku, są główną przyczyną wiatrowałów w strefie górskiej (np. Brázdil, 1998). Również wiatry innej genezy – np. splywowe, jak bora lub fen w Sudetach i Tatrach („halny”, „tatrzańska bora”) mogą powodować katastrofalne zmiany w drzewostanach. W 60-leciu 1950–2010 w Europie zanotowano około 130 epizodów huraganowego wiatru różnej genezy, które spowodowały poważne szkody w drzewostanach (Gardiner i inni, 2010).

Po dokładnej analizie mapy pozyskania drewna z nadleśnictw sudeckich w 2007 i 2008 r. można wskazać bardzo wyraźne różnice ilości pozyskanego drewna w obrębie wierzchowiny Gór Sowich i częściowo Bardzkich, oraz Gór Izerskich i Pogórza Izerskiego (ryc. 4). Zniszczeń nie zanotowano po południowo-zachodniej stronie grzbietu Gór Sowich i Bardzkich, czyli od strony dowietrznej, gdzie być może drzewostany były bardziej przystosowane i uodpornione na silny wiatr, który w Sudetach przeważa z sektora NW-W-SW (Dancewicz i inni, 2009). Wyraźna różnica wielkości zniszczeń, duża w Kotlinie Jeleniogórskiej i na Pogórzu Izerskim, nieznaczna w Górach Izerskich i po północnej stronie Karkonoszy, może być wiązana z teoretyczną granicą przebiegającą na wysokości 500–600 m n.p.m., określającą stan rozdrobnienia powierzchniowego drzewostanów (o różnym stopniu fragmentacji). Poniżej tej wysokości las jest rozbity na liczne drobne enklawy, co może wpływać na jego niższą odporność na uderzenie silnego wiatru. Nieoślonięta ściana lasu jest najbardziej podatna na działanie tzw. „efektu brzegowego”, szczególnie na wierzchowinach, gdzie wiatr może osiągać największą prędkość (Sobik i Błaś, 2008). Możliwe też, że lasy Gór

Izerskich nie osiągnęły jeszcze krytycznej wysokości po wylesieniu związanym z emisją przemysłową zanieczyszczeń w latach 1970. i 1980. Po jej przekroczeniu zniszczenia w drzewostanach są już bardzo poważne. Krytyczna wysokość dla świerka została określona na 12–17 m (Stępień, 1984), a ogólnie dla drzewostanu przy prędkości wiatru 100 km h^{-1} – na 15–20 m (Brüning i inni, 1977). B. Gardiner i inni (2010) uważają wysokość drzew za najbardziej istotny czynnik determinujący podatność drzewostanów na zniszczenia przez huraganowy wiatr. Stwierdzone duże zniszczenia po południowej stronie Karkonoszy mogą mieć związek z wyniesieniem masywu oraz jego niemal prostopadłą orientacją względem przeważającego kierunku wiatru – SW (Sobik i Błaś, 2008). Być może w tym przypadku większa odporność drzewostanu od strony dowietrznej nie miała takiego znaczenia ze względu na stwierdzone podczas orkanu Cyryl ekstremalne prędkości wiatru. Masyw Karkonoszy jest również pierwszą znaczną barierą topograficzną dla napływających z zachodu i południa mas powietrza. Tak znaczne różnice w szkodach pomiędzy S a N częścią masywu karkonoskiego mogą też wynikać z trzykrotnie większej powierzchni Karkonoszy po stronie czeskiej (465 km^2 w stosunku do 185 km^2).

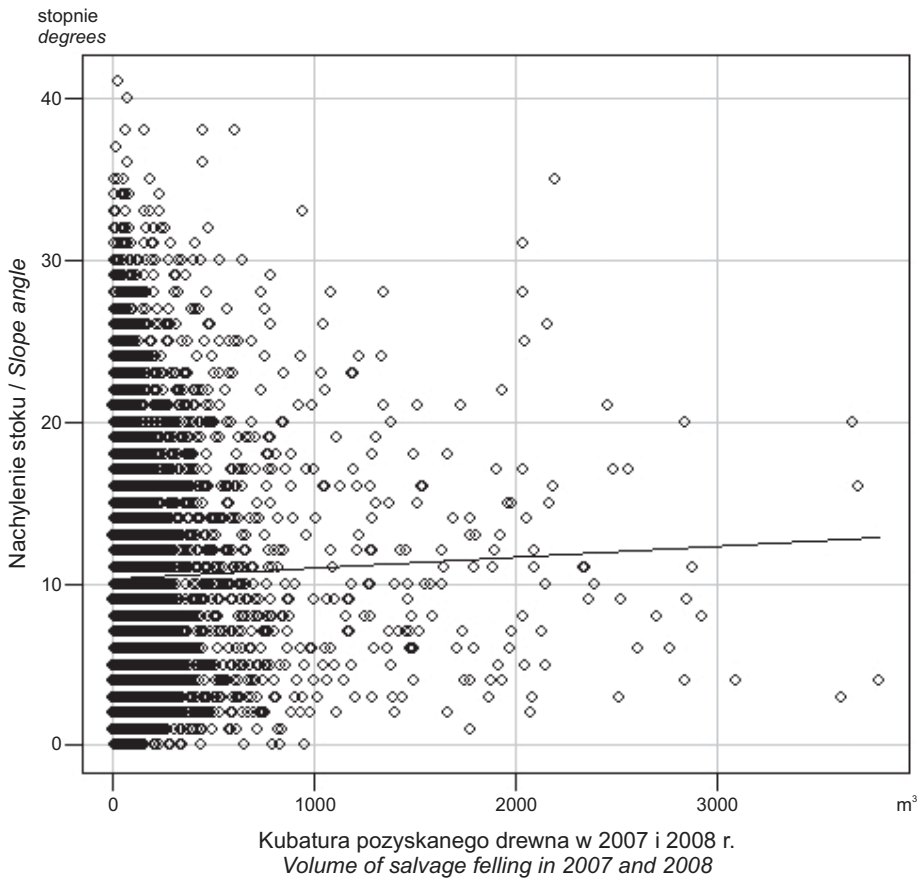
Jak podaje R. Brázdil (1998) opierając się na wynikach wcześniejszych badań z Czech (Vicena i inni, 1979), zniszczenia przez wiatr i śnieg są m.in. funkcją wysokości. Destrukcyjny wpływ tych czynników koncentruje się głównie w strefie 400–800 m npm. (dla Polski – wg E. Jewuły, 1975 – w przedziale 500–900 m npm.). Również w Sudetach dominują zniszczenia – szczególnie w wymiarze powyżej średnich, ponad 500 m^3 – w tym zakresie wysokości (ryc. 6). Istotnym ograniczeniem jest tutaj przebieg współczesnej granicy rolno-leśnej, która w Sudetach osiąga wysokość 350–600 m npm. Przedział ten ma jednak jedynie charakter orientacyjny, ponieważ zniszczenia były notowane nawet poniżej 400 m npm (ryc. 6). Zniszczenia przez wiatr w wyższych partiach gór nie są wyjątkiem, ale tam ich obszar jest mniejszy (Brázdil, 1998). Drugą analizowaną cechą jest nachylenie terenu. Pod tym względem zniszczenia koncentrują się na stokach o nachyleniu do 20° , dominujących w Sudetach (ryc. 7). Poza wskazaniem określonych przedziałów wysokościowych, gdzie istnieje zauważalna tendencja do koncentracji pewnej liczby obserwacji, nie ma wyraźnego trendu liniowego wyznaczającego ogólną zależność pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

R. Lässig i S.A. Močalov (2000) stwierdzają, że powierzchnie wiatrowałów i wiatrołomów w drzewostanach górskich Europy Środkowej powstają najczęściej z powodu dominacji świerka. Przyjmuje się natomiast, że lasy pierwotne o składzie mieszanym w reglu dolnym oraz rodzimej odmianie świerka w reglu górnym były o wiele bardziej odporne na czynniki klimatyczne, w tym silny wiatr, na co zwrócono uwagę już w XIX w. (Nyrek, 1992). Zgromadzone dane wskazują jednak, że w pewnych okolicznościach żaden las nie jest w stanie oprzeć się destrukcyjnej sile wiatru. Nawet dobrze przystosowane do swojego siedliska, rodzime drzewostany bywają uszkodzane przez wiatr oraz okiść



Ryc. 6. Wykres liniowy dla zmiennych: wysokość (m n.p.m.) i kubatura pozyskanego drewna (m^3)
Linear regression for variables altitude (m a.s.l.) and volume of timber (m^3)

śnieżną i lodową, jeżeli nasilenie tych czynników jest zbyt duże (Modrzyński, 1984, 1993). Co więcej, sugeruje się, że eliminowanie drzewostanów górno-reglowych przez wiatr i śnieg przed osiągnięciem wieku 200 lat jest rzeczą zupełnie naturalną (Myczkowski, 1967 – za: Modrzyński, 1984). Na przykład, w 1966 r. w Karkonoszach naporowi wiatru uległy nawet drzewostany mieszane (Capecki i Zwoliński, 1984). W 1968 r. w Tatrach siłę wiatru przy prędkości 50 m s^{-1} oszacowano na 300 kg m^{-2} , co spowodowało, że nie oparł się mu żaden z typów siedliskowych drzewostanu od górnej granicy lasu aż po najniższe płaty regła dolnego. Dodatkowo, po słowackiej stronie Tatr większość zniszczeń w drzewostanach wystąpiła w grupie lasów zaliczanych do naturalnych (Bzowski i Dziewolski, 1973). Zakłada się, że na rozmiar szkód powodowanych przez wiatr i śnieg w ekotypowo właściwych drzewostanach dolneregłowych



Ryc. 7. Wykres liniowy dla zmiennych: nachylenie terenu i masa drewna
Linear regression for variables slope angle (in degrees) and volume of timber (m^3)

ma wpływ – oprócz często podkreślanej zniekształconej struktury – wadliwa hodowla lasów sudeckich (Modrzyński, 1993).

W przypadku lasów gospodarczych silny wiatr jest przede wszystkim problemem pociągającym za sobą poważne koszty finansowe. Z szeregu publikacji wynika, że bardzo negatywne konsekwencje dla kondycji lasów górskich miało wprowadzenie na masową skalę świerka pospolitego, który mimo szybkiego przyrostu masy ma bardzo niską odporność na ekstremalne warunki klimatyczne, takie jak silny wiatr, niskie temperatury i brak lub nadmiar opadów (Sierpiński, 1977). Inne cechy, które wpływają na jego podatność na zniszczenia szczególnie ze strony silnego wiatru to płaski (tarczowy) system korzeniowy tkwiący płytko w glebie oraz niskie parametry techniczne (wytrzymałościowe) drewna, które łatwo ulega złamaniu lub skręceniu. Z drugiej strony, tylko świerk był w stanie

przystosować się do warunków klimatycznych panujących na wysokości regla górnego, gdzie w chwili obecnej dominuje. Dane na temat szkód powodowanych przez wiatr w Sudetach (np. Zoll, 1958), Tatrach (Sokołowski, 1934; Bzowski i Dziewolski, 1973; Balon i Maciejowski, 2006), Gorcach (Jarosz, 1935) oraz Beskidach (Staszekiewicz, 1927) wskazują na błędy jakie popełniono, tj. nasadzenie nieodpowiednich dla danego typu siedliskowego drzew, a przede wszystkim faworyzowanie świerka jako gatunku lasotwórczego, nawet w piętrze regla dolnego (Szymański i Zientarski, 1993).

Częstość epizodów silnego wiatru (powyżej 33 m s^{-1}) jest stosunkowo duża – wskazują na to dane pochodzące zarówno z Sudetów i Tatr (ryc. 4), jak i części nizinnych Polski i Niemiec. Jednocześnie na podstawie dostępnych danych można wysunąć tezę, że w Sudetach szkody spowodowane przez wiatr zdarzają się o wiele częściej niż w Tatrach (ryc. 4) – w XX w. wystąpiły w ich obrębie trzy epizody huraganowego wiatru, które spowodowały zniszczenia o kubaturze ponad 1 mln m^3 drewna (w roku 1930, 1966 i 2007). Zniszczenia zanotowane w Sudetach po orkanie Cyryl w 2007 r. ($1,1 \text{ mln m}^3$) nie były jednak największe w skali ostatnich 110 lat. W roku 1930 szkody w drzewostanach oszacowano aż na $1,6 \text{ mln m}^3$.

Odnośnie do północnych Niemiec częstość pojawienia się orkanu została oszacowana na 5–10 lat, a tzw. superorkanu na 1–2 przypadki w ciągu stulecia (Brünig i inni, 1977). Przykładem tego ostatniego jest kłęska jaką poniosły lasy niemieckie w 1977 r., kiedy złamaniu lub wyrwoceniu uległo ponad 17 mln m^3 drzew na powierzchni 120 tys. ha (Capecki, 1975; Brünig i inni, 1977). Kolejne zniszczenia na obszarze Niemiec w latach 1990 ($72,5 \text{ mln m}^3$ drzew, 2,7% krajowego zasobu drewna), 1999 (34 mln m^3 , 1,03%) oraz 2007 (37 mln m^3 drzew, 1,1% zasobu) (Gardiner i inni, 2010) potwierdzają, że zjawisko tzw. superorkanu może zdarzać się nad tym samym obszarem nawet do 4 razy na 30 lat.

W Polsce pomiędzy 1946 a 2002 r. zniszczonych zostało około 60 mln m^3 drzew. W tym czasie epizody bardzo silnego wiatru pojawiły się na obszarze całego kraju blisko 40 razy (Mikułowski i Gil, 2003). W zestawieniu z tymi informacjami bardzo interesujące są dane z Republiki Czeskiej: pozyskanie drewna ze szkód spowodowanych przez czynniki meteorologiczne pomiędzy 1963 a 1996 wyniosło tam $134,7 \text{ mln m}^3$, przy następującym udziale poszczególnych przyczyn: wiatr 61,1%, śnieg 15,9%, susze 9,7%, emisja zanieczyszczeń 9,5% i okiść lodowa 3,8% (Brázdil, 1998).

W Tatrach, podobnie jak w Sudetach, głównym czynnikiem modelującym drzewostany są wiatry, których silniejsze epizody wyznaczone zostały na podstawie analizy drewna reakcyjnego w przyrostach rocznych drzew (Zielonka i Malcher, 2009). Autorzy określają częstość takiego zjawiska na 1–2 przypadki na 100 lat (ryc. 4), ze szkodami w skali większej niż 1 ha , zaznaczając, że minimalny okres powstawania wiatrowałów ograniczony jest okresami regeneracji drzewostanów.

Na tle innych orkanów, które zanotowano od 1950 r. w Europie, Cyryl został sklasyfikowany na czwartym miejscu pod względem strat w drzewostanach po: (1) orkanie Lothar/Martin (1999 r.) – 196,7 mln m³ zniszczonych drzew, głównie we Francji; (2) Vivian (1990 r.) – 120 mln m³ i (3) Gudrun (2005 r.) – 77,5 mln m³, głównie w Szwecji (Gardiner i inni, 2010). Jednocześnie obok orkanów Lothar i Martin z 1999 r. Cyryl został uznany za zdarzenie o zasięgu europejskim – spowodował zniszczenia w drzewostanach w 11 krajach europejskich oprócz Polski: Niemcy, Szwecja, Czechy, Słowacja, Austria, Litwa, Łotwa, Belgia, Francja, Holandia i Rumunia.

Wnioski

Dotychczasowe badania w strefie średnich szerokości geograficznych prowadzą do jednoznacznej tezy, że silny wiatr, jako czynnik abiotyczny o różnicowanej genezie i natężeniu (w postaci np. tornada, cyklonu, fenu, bory), wpływa na każdy aspekt funkcjonowania ekosystemu leśnego. W relacji do zagospodarowania lasów w Sudetach wnioski płynące z niniejszego opracowania są następujące.

1. W polskiej części Sudetów orkan Cyryl, tak jak w całej Europie Zachodniej i Środkowej, spowodował katastrofalne szkody w drzewostanach, a jego efekty morfologiczne na stokach widoczne są do dziś;
2. Podczas czyszczeń sanitarnych po orkanie w latach 2007–2008 z 16 nadleśnictw sudeckich pozyskano 1,1 mln m³ drewna, tj. średnio 4,6 m³ z hektara;
3. Orkan Cyryl nie był najpoważniejszym w skutkach uderzeniem silnego wiatru w Europie w ostatnich 60 latach, ale jednym z dwóch – obok orkanu Lothar/Martin (1999 r.) – o randze europejskiej, niszczącym drzewostany w wielu krajach jednocześnie;
4. Analiza częstości powstawania rozległych szkód z powodu silnego wiatru w Sudetach i Tatrach (ryc. 3) wskazuje, że w ostatnich 110 latach zdarzenia takie obserwowano częściej w Sudetach, jednakże w Tatrach były o wiele bardziej intensywne, powodując większe straty w drzewostanach (w listopadzie 2004 r. zniszczenia wg różnych szacunków wyniosły od 3 do 5,4 mln m³ drewna – Rojan, 2010; Gardiner i inni, 2010);
5. Szkody, których przyczyną są czynniki meteorologiczne, tj. wiatr, śnieg lub okiść występują w Sudetach z większym natężeniem co kilka lat, a w wielu regionach corocznie. Jednocześnie wszystkie zjawiska mające negatywny wpływ na lasy współlistnieją i wzajemnie się wzmacniają. W przypadku wiatrowałów szkody mogą być o wiele większe, jeżeli drzewostan został wcześniej osłabiony np. przez grzyby, bakterie lub z powodu niedoboru opadów. W Sudetach katastrofalne zniszczenia spowodowane wiatrem notowano z częstością kilku razy na 100 lat;

6. Intensyfikacja zniszczeń w drzewostanach sudeckich była bezpośrednim następstwem wylesienia, a następnie błędów poczynionych w hodowli lasów w ciągu XIX i w początkach XX w.

W podsumowaniu należy podkreślić, że zakres przedstawionych wyników analiz i danych historycznych z obszaru Sudetów wskazuje na trójstronne relacje pomiędzy:

- czynnikiem inicjującym natury meteorologicznej – huraganowym wiatrem;
- zmienną biotyczną związaną z typem i kondycją lasu;
- procesem geomorfologicznym – saltacją wykrotową.

Liczba zmiennych, które w takiej analizie mogą być brane pod uwagę jest o wiele większa, jednak powyższe pozwalają na wstępną ocenę zależności i zaplanowanie dalszych badań. Pewnym przybliżeniem może być w tym przypadku model „choroby spiralnej lasów” (Zientarski i inni, 1994), uzupełniony przez autora o saltację wykrotową (ryc. 1). W przyszłości planowane jest powiązanie informacji o obszarach wiatrowałów z zagadnieniem erozji rzeczywistej i potencjalnej gleb leśnych w obszarze górskim, powodowanej przede wszystkim przez saltację wykrotową. Dotychczas czynnik ten nie był brany pod uwagę. Zakładano, że las skutecznie chroni glebę przed erozją, nawet na stokach o dużym nachyleniu. Zgadając się z ogólnym stwierdzeniem, że las stabilizuje stoki i chroni glebę przed wymyciem, jednocześnie stwierdza się, że w przypadku wiatrowału dochodzi do znacznego przekształcenia pokryw stokowych i gleb leśnych nawet podczas jednego epizodu huraganowego wiatru (Philips i inni, 2008; Pawlik, 2010).

*

Chciałbym podziękować prof. Piotrowi Migoniowi oraz Recenzentom za uwagi i sugestie dotyczące pierwotnej wersji tekstu. Za wszelkie uwagi dziękuję również: dr Małgorzacie Wieczorek, dr. Dariuszowi Rosińskiemu, mgr. Wojciechowi Mazurowi, mgr. Tymoteuszowi Sawińskiemu i lic. Łukaszowi Longoszowi.

Badania realizowane były w ramach grantu MNiSW nr N N306 032940 („Saltacja wykrotowa jako element składowy dynamiki stoku zalesionego na przykładzie polskiej części Sudetów”). Prace finansowane były częściowo ze stypendium na badania w ramach projektu „Rozwój potencjału i oferty edukacyjnej Uniwersytetu Wrocławskiego szansą zwiększenia konkurencyjności Uczelni”.

Piśmiennictwo

- Archiwum PNGS, różne lata, maszynopisy z archiwum Dyrekcji Parku Narodowego Gór Stołowych, Kudowa Zdrój (dostęp 2007).
- Balon J., Maciejowski W., 2005, *Wpływ huraganowego wiatru z 19 listopada 2004 na krajobraz południowego skłonu Tatr*, [w:] A. Szponar, S. Horsk-Schwarz (red.), *Struktura przestrzenno-funkcjonalna krajobrazu*, Problemy Ekologii Krajobrazu, 17, Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, s. 92–100.

- Brázdil R., 1998, *Meteorological extremes and their impacts on forests in the Czech Republic*, [w:] *The Impacts of Climate Variability on Forests*, red. M. Beniston, J.L. Innes, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, s. 19–47.
- Brázdil R., Dobrovolský P., Štekl J., Kotysa O., Valášek H., Jež J., 2004, *History of Weather and Climate in the Czech Lands. VI: Strong Winds*, Masaryk University, Brno.
- Bruchwald A., Dmyterko E., 2010, *Metoda określenia ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr*, *Leśne Prace Badawcze*, 71, 2, s. 165–173.
- Brünig E.F., Heuvelink J., Schneider T.W., 1977, *Produkcyjno-ekologiczne i hodowlane wnioski z katastrofy huraganowej w dniu 13 listopada 1972 r.*, *Sylvan*, 121, 4, s. 15–31.
- Bugajski M., Nowiński S., 1983, *Gospodarka leśna w Sudetach*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 506, *Studia Geograficzne*, 32, s. 91–99.
- Bzowski M., Dziewolski J., 1973, *Zniszczenia w lasach Tatrzańskiego Parku Narodowego spowodowane przez wiatr halny wiosną 1968 r.*, *Ochrona Przyrody*, 38, s. 115–153.
- Capecki Z., 1975, *Katastrofalne wiatrowaty na północy RFN i NRD*, *Sylvan*, 119, 5, s. 60–64.
- Capecki Z., Zwoliński A., 1984, *Charakterystyka zagrożeń lasów Karkonoskiego Parku Narodowego*, *Sylvan*, 128, 8, s. 1–21.
- Dancewicz A., Otop I., Szalińska W., 2009, *Ocena warunków środowiskowych województwa dolnośląskiego w aspekcie ich wykorzystania dla potrzeb energetyki wiatrowej*, Raport IMGW, Wrocław, www.wbu.wroc.pl (12.12.2011).
- Dąbrowska K., 2009, *The morphogenetic impact of the bora type wind (19th November 2004) on the relief of Danielov dom area (The High Tatras)*, *Landform Analysis*, 11, s. 5–10.
- Fink A.H., Brücher T., Ermert V., Krüger A., Pinto J.G., 2009, *The European storm Kyrill in January 2007: synoptic evolution meteorological impacts and some considerations with respect to climate change*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, s. 405–423.
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J.M., Fleischner P., 2010, *Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts. Final Report to European Commission - DG Environment*, European Forest Institute, Joensuu, Finland, [http://ec.europa.eu/environment/forests/pdf/STORMS%20Final_Report_main_text%20\(141210b\).pdf](http://ec.europa.eu/environment/forests/pdf/STORMS%20Final_Report_main_text%20(141210b).pdf) (08.02.2011).
- Jarosz S., 1935, *Badania geograficzno-leśne w Gorcach*, *Prace Rolniczo-Leśne*, 16, Polska Akademia Umiejętności, Wydawnictwo funduszu im. Śp J.Wł. Fedorowicza, Kraków.
- Jewuła E., 1974, *Regionalizacja szkód powodowanych przez wiatry w drzewostanach górskich i podgórszych Południowej Polski*, *Sylvan*, 118, 10, s. 54–63.
- , 1975, *Lokalizacja szkód powodowanych przez wiatry w drzewostanach górskich*, *Sylvan*, 119, 10, s. 27–33.
- Kareň M., 2006, *Vetrová kalamita 19. novembra 2004: nové pohľady a konsekvencie*, *Tatry*, 44, s. 6–28.
- Kolejka J., Klimánek M., Mikita T., Svoboda J., 2010, *Polomy na Šumavě způsobené orkáňem Kyrill a spoluúčast reliéfu na poškození lesa*, *Geomorphologica Slovaca et Bohemica*, 2, s. 16–28.
- Kramer M.G., Hansen A.J., Taper M.L., Kissinger E.J., 2001, *Abiotic controls on long-term windthrow disturbance and temperate rain forest dynamics in Southeast Alaska*, *Ecology*, 82, 10, s. 2749–2768.
- Lässig R., Močálov S.A., 2000, *Frequency and characteristics of severe storms in the Urals and their influence on the development, structure and management of the boreal forests*, *Forest Ecology and Management*, 135, s. 179–194.

- Margas C., Szymczak H., 1969, *Kłęski żywiolowe w polskich Karkonoszach i regionie jeleniogórskim (1232–1968)*, Wierchy, 38, s. 77–115.
- Mazurski K.R., 1987, *Stan ekologiczny lasów Dolnego Śląska*, [w:] *Stan ekologiczny Dolnego Śląska*, red. K.R. Mazurski, Wydawnictwo Dolnośląskiego Towarzystwa Społeczno-Kulturalnego, Pracownia Badania Regionu, Wrocław, s. 137–144.
- , 2008, *Destruction of forests in the Sudetes – thirty years later*, [w:] *Výroční konference ČGS, Sborník příspěvků, Liberec, 25–29.08.2008*, s. 30–41; <http://mazurski.eu/> (01.03.2011).
- Mikułowski M., Gil W., 2003, *Wind-induced damage to Polish forests and the methods of mitigating its effect*, [w:] *International Conference “Wind Effects on Trees”, September 16–18, 2003*, University of Karlsruhe, Germany, s. 349–356.
- Modrzyński J., 1984, *Problem ras świerka (Picea abies (L.) Karst.) w Karkonoszach*, *Prace Karkonoskiego Towarzystwa Naukowego*, 41, s. 107–117.
- , 1993, *Środowiskowe przystosowanie świerka w Karkonoszach*, [w:] *Materiały z sesji naukowej w Karpaczu „Geoekologiczne problemy Karkonoszy”, 11–13.10.1991*, red. J. Tomaszewski, J. Sarosiek, S. Szymański, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, s. 335–341.
- Nyrek A., 1975, *Gospodarka leśna na Górnym Śląsku od połowy XVII do połowy XIX w.*, *Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, Seria A*, 168.
- , 1992, *Kultura użytkowania gruntów uprawnych, lasów i wód na Śląsku od XV do XX wieku*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 1361, *Seria Historia*, 47, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Pawlik Ł., 2010, *Wind and forest as slope sculptors – a geomorphic approach*, [w:] *“Trees and Dynamics”. Book of Abstracts, University Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France, 15–19.11.2010*, red. A. Decaulne, E. Langlois, M. Cabani, O.T. Pop, Université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, s. 29.
- Peřina V., Samek V., 1958, *Sposoby zagospodarowania lasów sudeckich*, *Sylvan*, 102, 5–6, s. 34–49.
- Phillips J.D., Marion D.A., Turkington A.V., 2008, *Pedologic and geomorphic impacts of a tornado blowdown event in a mixed pine-hardwood forest*, *Catena*, 75, 3, s. 278–287.
- Plany urządzenia lasu nadleśnictw sudeckich, 1945–2011*, maszynopisy w archiwum Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych we Wrocławiu.
- Rojan E., 2010, *Rola bardzo silnego wiatru w przekształcaniu rzeźby terenu w piętrze leśnym gór, na przykładzie wiatrowału w słowackich Tatrach Wysokich*, *Czasopismo Geograficzne*, 81, 1–2, s. 103–123.
- Schelhaas M.-J., Nabuurs G.-J., Schuck A., 2003, *Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries*, *Global Change Biology*, 9, s. 1620–1633.
- Schönenberger W., 2002, *Post windthrow stand regeneration in Swiss mountain forests: the first ten years after the 1990 storm Vivian*, *Forest Snow and Landscape Research*, 77, 1–2, s. 61–80.
- Sobik M., Błaś M., 2008, *Znaczenie klimatu dla funkcjonowania ekosystemów leśnych Karkonoszy*, [w:] *Monitoring ekosystemów leśnych w Karkonoskim Parku Narodowym*, red. A. Mazur, A. Raj, R. Knapik, Wydawnictwo Karkonoskiego Parku Narodowego, Jelenia Góra, s. 17–28.
- , 2010, *Wyjątkowe zdarzenia meteorologiczne*, [w:] *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki*, red. P. Migoń, *Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski*, 14, s. 35–80.
- Sokołowski M., 1934, *Szkody od powału w lasach tatrzańskich i sposoby zapobiegania im w zakresie hodowli lasu*, *Prace Rolniczo-Leśne*, 10, Polska Akademia Umiejętności, Kraków.

- Stanowski T., 1984, *Zalesienie halizn i płazowizn w regli górnym lasów sudeckich*, Prace Karkonoskiego Towarzystwa Naukowego, 41, s. 133–144.
- Staszkiwicz S., 1927, *Katastrofalne szkody wiatrowe i ich przyczyny w lasach Beskidu Śląskiego*, Sylwan, 45, s. 171–180 (cz. 1), 244–254 (cz. 2), 341–347 (cz. 3).
- Stępień E., 1984, *Problematyka stabilności drzewostanów świerkowych w cięciach pielęgnacyjnych*, Prace Karkonoskiego Towarzystwa Naukowego, 41, s. 145–162.
- Szymański S., Zientarski J., 1993, *Hodowla lasów górskich w warunkach stresu środowiskowego na przykładzie Karkonoskiego Parku Narodowego*, [w:] *Materiały z sesji naukowej w Karpaczu „Geoekologiczne problemy Karkonoszy”*, 11–13.10.1991, red. J. Tomaszewski, J. Sarosiek, S. Szymański, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, s. 307–313.
- Ulanova N.G., 2000, *The effects of windthrow on forests at different spatial scale: a review*, *Forest Ecology and Management*, 135, s. 155–167.
- Vicena I., Parez J., Konopka J., 1979, *Ochrana lesa proti polomům*, Ministerstvo lesního a vodního hospodářství CSR, Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Wilczkiewicz M., 1974, *Ogólna charakterystyka i znaczenie gospodarcze rodzimych drzewostanów świerka w Sudetach Wschodnich*, Sylwan, 118, 12, s. 45–55.
- , 1982, *Rys historyczny gospodarki w lasach sudeckich*, Sylwan, 126, 6, s. 49–54.
- Wittig J., 1942/1943, *Die Laubwälder der Sudeten und Ihres Vorlandes*, Schlesien-Verlag, Breslau.
- Zielonka T., Malcher P., 2009, *The dynamics of a mountain mixed forest under wind disturbances in the Tatra Mountains, central Europe – a dendroecological reconstruction*, *Canadian Journal of Forest Research*, 39, s. 2215–2223.
- Zientarski J., Ceitel J., Szymański S., 1994, *Zamieranie lasów – dynamika i prognozy*, [w:] *Protection of Forest Ecosystems. Selected Problem of Forestry in Sudety Mountains*, red. P. Paschalis, S. Zajączkowski, Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa, s. 11–28.
- Zoll T., 1958, *Podstawowe zagadnienia zagospodarowania lasów górskich w Sudetach*, Sylwan, 102, 5–6, s. 9–33.
- , 1962, *Analiza stanu lasów w Sudetach*, *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 32, s. 123–144.

[Wpłynęło: czerwiec; poprawiono: grudzień 2011 r.]

ŁUKASZ PAWLIK

FOREST DAMAGE IN THE SUDETY MTS. CAUSED BY THE KYRILL STORM
(18–19.01.2007) – HISTORIC AND REGIONAL IMPLICATIONS

This paper focuses on an analysis of the severe damage caused in Sudetic forest stands by a hurricane-force wind induced by an extra-tropical cyclone. The winter storm, called Kyrill, appeared over the Sudety Mts., and Bohemian Massif, on 18th and 19th January 2007. The study area includes 16 forest divisions covering the forested part of the Polish Sudetes, analysis being based on the historical background of the area and information about past damage done in forest stands as a consequence of the impact of very strong wind. Following this preliminary study, the next step included basic data mining and cartographic visualization of the results. The visualisation, generated in ArcGIS, was based on a vector map of forest divisions divided into smaller units (polygons) that were sections of forest measuring 23 ha on average. The data included vol-

ume of large timber measured in cubic meters, and withdrawn in the course of salvage felling in the affected areas of 16 Forest Districts in 2007 and 2008. The damage caused by the windstorm was rather unusual for the Sudetes over the last decade. However, when account was taken of data from Poland and Europe over the past hundred years, it becomes evident that this type of phenomenon is the constant factor of threat in regional and local forest management and silviculture.

In relation to forest management in the Sudetes, the following conclusions based on available information can be drawn:

- in the Polish part of the Sudety Mts. the Kyrill storm caused catastrophic damage and had morphological effects are seen on slope surfaces till now;
- during sanitary clearings after the storm in 2007 and 2008, 1.1 M m³ of large timber from 16 Forest Districts was withdrawn – 4.6 m³ ha⁻¹ in average;
- while the Kyrill storm was not the most serious episode of hurricane-force winds to occur in Europe over the last 60 years, it was classified – along with the Lothar/Martin storm (of 1999) as a storm of Europe-wide significance that caused damage to forest stands in many countries simultaneously;
- available data sustain the contention that the last 110 years have seen destructive storms noted more often in the Sudetes than in the Tatra Mts. However, the storms affecting the latter were more intensive and generated greater damage in forests (e.g. in November 2004 damage was at a level of between 3 and 5,4 M m³ of large timber; Rojan, 2010; Gardiner *et al.*, 2010);
- in the Sudetes, damage caused by meteorological factors (i.e. wind, snow or ice-storms) appears at intervals of every few years, though every single year in many regions. Catastrophic changes in the Sudetic forest stands have been noted several times in the past 100 years;
- the intensity of the damage done to the Sudetic forests was a direct consequence of deforestation and incorrect forest management and silviculture in the 19th and early 20th centuries.

The results of various analyses and historical data related to the Sudetic forest stands indicate a trilateral relationship between:

- the initiation factor, meteorological in origin – a hurricane wind;
- a biotic variable linked with type of forest stand and the sanitary condition thereof;
- the geomorphological process of tree uprooting.

The range of variables which could be included in such a study is certainly larger, however, the ones mentioned above nevertheless allowing for a preliminary appraisal of possible relationships between them and the planning of further research. A good approximation of the different types of variables is given in a model of “spiral disease of forest” (Zientarski *et al.*, 1994), with the added factor of tree uprooting (Fig. 1).

