

**MARIUSZ CIESIELSKI, RADOMIR BAŁAZY, TOMASZ HYCZA, ELŻBIETA DMYTERKO,
ARKADIUSZ BRUCHWALD**

Szacowanie szkód spowodowanych przez wiatr w drzewostanach przy wykorzystaniu obrazowań satelitarnych i danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych*

Estimating the damage caused by the wind in the forest stands using satellite imagery and data from the State Forests Information System

ABSTRACT

Ciesielski M., Bałazy R., Hycza T., Dmyterko E., Bruchwald A. 2016. Szacowanie szkód spowodowanych przez wiatr w drzewostanach przy wykorzystaniu obrazowań satelitarnych i danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. Sylwan 160 (5): 371-377.

The aim of the study was to evaluate the area and volume of the windthrows caused by a down-burst, which occurred early morning on July 8th, 2015 in the Międzylesie Forest District (south-western Poland). The wind velocity reached 270 km/h and the phenomenon caused damages similar to those observed after the hurricane. The most affected forest ranges included: Różanka, Nowa Wieś, Lesica, Goworów, Jodłów and Smreczyna. To evaluate the area of the windthrow in particular forest stands, the remote sensing data were used, whereas to estimate the total wood volume we applied the growth model and the average volume of the particular forest stands, gathered in the State Forests Information System (SILP) database. The volume of the windthrow evaluated by the forest rangers during some local investigation equaled 103 thousands m³, while one calculated using the SILP database – 161 thousands m³ and with the growth model – 168 thousands m³. The forest service estimations were underestimated. According to the model of the wind damage risk, most of the forest stands in the Międzylesie Forest District were highly or very highly endangered by the strong winds. The presence of the windthrow is very dangerous either for people or the surrounding forest (due to the risk of pests outbreak). Therefore it demands immediate decisions and actions from the forest service, which need reliable and quickly accessible data. The information provided with the satellite imagery, the risk model and the growth model may accelerate the decision-making process and optimize the damage disposal. Satellite imagery also enables to estimate the amount of damage on the areas, which are hardly available for the foresters and their vehicles. Due to their high usefulness, growing availability and declining prices, these tools should be introduced to local forestry as quickly as possible.

KEY WORDS

windthrows, remote sensing, satellite imagery, State Forests Information System database, growth model

ADDRESSES

Mariusz Ciesielski – e-mail: M.Ciesielski@ibles.waw.pl
Radomir Bałazy – e-mail: R.Bałazy@ibles.waw.pl

*Praca powstała w ramach projektu „Utworzenie dla obszaru Sudetów i Beskidu Zachodniego leśnego systemu informacyjnego w zakresie monitoringu i oceny stanu lasu” zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

Tomasz Hycza – e-mail: T.Hycza@ibles.waw.pl

Elżbieta Dmyterko – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl

Arkadiusz Bruchwald – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl

Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Wstęp

Na terenie Polski coraz częściej występują ekstremalne zjawiska pogodowe, a wśród nich silne wiatry, będące dużym zagrożeniem dla trwałości i stabilności ekosystemów leśnych. Mogą one powodować wielkopowierzchniowe szkody, przykładem czego jest huragan z lipca 2002 roku, który zniszczył drzewostany puszczy Piskiej, Kurpiowskiej i Boreckiej. W styczniu 2007 roku międzykontynentalny huragan „Cyril” dokonał dużych zniszczeń w drzewostanach nadleśnictw RDLP we Wrocławiu, a w grudniu 2013 roku huragan „Ksawery” zniszczył wiele drzewostanów w RDLP w Szczecinku. Bardzo często występują lokalne silne wiatry, w tym trąby powietrzne, powodujące duże szkody w nadleśnictwach. W 2007 roku w lipcu huragan zniszczył drzewostany w nadleśnictwach Przedbórz i Piotrków, a w sierpniu „biały szkwał” dokonał zniszczeń w nadleśnictwach Maskulińskie i Strzałowo. Bardzo duże szkody spowodował huragan w lipcu 2009 roku w kilku nadleśnictwach regionalnych dyrekcji LP we Wrocławiu i Poznaniu, w lipcu 2011 roku wiatr zniszczył drzewostany w nadleśnictwach Ostrów Mazowiecka i Łochów, a we wrześniu tego samego roku w kilku nadleśnictwach RDLP w Szczecinie. Wymienić też należy zniszczenia spowodowane trąbą powietrzną w lipcu 2012 roku w nadleśnictwach Trzebciny i Lubichowo oraz wiatrem halnym, który w grudniu 2014 roku spustoszył drzewostany Tatrzańskiego Parku Narodowego i przyległych lasów własności prywatnej.

Po silnym wietrze zachodzi pilna potrzeba zdobycia informacji o rodzaju i wielkości szkód, a także o ich usytuowaniu. Ważne są zwłaszcza dane o wielkości powierzchni z powstałymi szkodami, miąższości złomów i wywrotów, a także miąższości drzew żywych, które należy pozyskać przy wyrównywaniu granic uszkodzonej powierzchni drzewostanów.

Celem pracy jest przedstawienie metody określania wielkości powierzchni uszkodzonej przez wiatr w poszczególnych drzewostanach oraz oszacowania miąższości drzew na tej powierzchni. Obiektem badań jest Nadleśnictwo Międzylesie, w którym wiatr z 7 na 8 lipca 2015 roku uszkodził drzewostany i infrastrukturę kilku leśnictw. Do określenia wielkości uszkodzonej powierzchni w poszczególnych drzewostanach wykorzystano dane teledetekcyjne, a do oszacowania miąższości drzew na powierzchniach uszkodzonych zastosowano model wzrostu drzewostanu oraz zawartą w bazie danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) miąższość poszczególnych drzewostanów.

Materiał i metody

Obszar badań położony jest w Sudetach, w Kotlinie Kłodzkiej [Konradcki 1994], na terenie Nadleśnictwa Międzylesie. Szkody wywołane huraganem wystąpiły w 6 leśnictwach: Różanka, Nowa Wieś, Lesica, Goworów, Jodłów i Smreczyna. Wiatr wiał z kierunku południowego zachodu i miał olbrzymią prędkość, dochodzącą do 270 km/godz. (www.lowcyburz.pl).

Do obliczenia powierzchni uszkodzeń w drzewostanach wykorzystano dwa zobrazowania satelitarne BlackBridge (rozdzielczość przestrzenna – 5 m, radiometryczna – 16 bitów, spektralna – 440-850 nm) oraz Leśną Mapę Numeryczną. Pierwsze zobrazowanie wykonano 6 czerwca 2015 roku, a drugie – 11 lipca 2015 roku (3 dni po wystąpieniu klęski). Z Leśnej Mapy Numerycznej pozyskano informacje na temat lokalizacji wydzieleni drzewostanowych oraz ich średniej zasobności.

Delimitację obszarów zmian przeprowadzono metodą odejmowania wartości wskaźnika NDVI, który służy do oceny stanu zdrowotnego roślinności. W przypadku wiatrołomów wartości wskaźnika są znacznie niższe niż w przypadku drzewostanów nieuszkodzonych. Określono wartości wskaźnika NDVI każdego piksela w obydwu zobrazowaniach, po czym obliczono różnicę między nimi. Obraz różnicowy poddano następnie progowaniu (w celu wyodrębnienia obszarów zmian) oraz generalizacji automatycznej (za pomocą narzędzia „Majority Filter” w ArcMap 10.3, rozmiar okna 3×3 piksele) i manualnej (usunięto poligony mniejsze niż 50 m²). Mapę ilustrującą lokalizację wiatrołomów poddano analizie dokładności za pomocą zestawu 300 punktów kontrolnych – otrzymano dokładność wynoszącą 96%.

Do każdego drzewostanu z warstwy „obszary zmian” przyporządkowano wielkość powierzchni uszkodzonego drzewostanu A , a wykorzystując bazę danych SILP, również adres leśny drzewostanu i miąższość V_1 . Następnie obliczono ilość drewna znajdującego się na „obszarach zmian”, posługując się wzorem:

$$M_1 = A \cdot V_1$$

gdzie:

M_1 – miąższość wywrotów i złomów w wydzieleniu drzewostanowym [m³],

A – powierzchnia wywrotów i złomów w wydzieleniu [ha],

V_1 – miąższość wydzielenia [m³/ha].

Do oszacowania wysokości szkód zastosowano również miąższość uzyskaną modelem wzrostu drzewostanu [Bruchwald 1986; Bruchwald i in. 1996, 2003]. Wykorzystując dane dla drzewostanu zawarte w SILP (powierzchnię, czynnik zadrzewienia, gatunki drzew tworzące drzewostan, ich wiek, udział powierzchniowy, przeciętną pierśnicę i średnią wysokość), a także stosując algorytm wstępny modelu wzrostu, obliczono miąższość drzewostanu (V_2). Miąższość drzew na powierzchni drzewostanu uszkodzonej przez wiatr (M_2) określono wzorem:

$$M_2 = A \cdot V_2$$

W wyniku prowadzonych w Polsce badań dotyczących problematyki powstawania szkód w drzewostanach spowodowanych przez czynniki abiotyczne opracowano m.in. model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr [Bruchwald, Dmyterko 2010, 2011, 2012]. Model określa dla każdego drzewostanu współczynnik ryzyka uszkodzenia W_r , zawarty w granicach od 0 do 3. Wyższej wartości współczynnika odpowiada większe prawdopodobieństwo wystąpienia szkód spowodowanych przez wiatr. Model uwzględnia 10 cech drzewostanu: wiek, skład gatunkowy, średnią wysokość, smukłość, czynnik zadrzewienia, typ siedliskowy lasu, region kraju, w którym położone jest nadleśnictwo (a tym samym oceniany drzewostan), miąższość złomów, wywrotów i posuszu pozyskaną w okresie ostatnich 10 lat oraz 3 cechy rzeźby terenu: wysokość drzewostanu nad poziomem morza, wystawę i nachylenie stoku. Spośród tych cech największe znaczenie mają: skład gatunkowy, średnia wysokość, miąższość złomów, wywrotów i posuszu pozyskana w ciągu ostatnich 10 lat oraz wysokość drzewostanu nad poziomem morza. Z poszczególnych wartości współczynnika ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr W_r utworzono 6 klas, które oznaczają zagrożenie:

1 klasa – $0 < W_r < 0,5$ – bardzo niskie,

2 klasa – $0,5 < W_r < 1$ – niskie,

3 klasa – $1 < W_r < 1,5$ – podwyższone,

4 klasa – $1,5 < W_r < 2,0$ – średnie,

5 klasa – $2 < W_r < 2,5$ – wysokie,

6 klasa – $2,5 < W_r < 3$ – bardzo wysokie.

Wyniki

Uzyskana ze zobrażeń satelitarnych powierzchnia poszczególnych drzewostanów uszkodzonych wyniosła łącznie dla całego nadleśnictwa około 368 ha, a największą stwierdzono w leśnictwach Goworów i Smreczyna (tab.). Na podstawie szacunków wykonanych przez pracowników Nadleśnictwa Międzyzlesie szkody w drzewostanach wywołane huraganem określono na około 103 tys. m³ miąższości złomów i wywrotów (tab.). Wystąpiły one w 5 leśnictwach, największe odnotowano w Smreczynie (40 tys. m³) oraz w Goworowie i Lesicy (po 25 tys. m³).

Powierzchnia uszkodzonych drzewostanów stanowiła podstawę do oszacowania miąższości złomów i wywrotów dwoma sposobami – z wykorzystaniem miąższości: 1) zawartej w SILP, 2) określonej modelem wzrostu drzewostanu. Za pomocą pierwszego sposobu miąższość drewna pokłeskowego dla całego nadleśnictwa określono na około 161 tys. m³, tj. o 55,2% więcej niż wynika to z szacunku leśniczych, a przy użyciu sposobu drugiego miąższość oszacowano na około 168 tys. m³, tj. o 62% więcej. Dla poszczególnych leśnictw miąższość uzyskana pierwszym sposobem jest w 5 przypadkach mniejsza od miąższości otrzymanej sposobem drugim. Różnica wyników waha się od 6,1% w leśnictwie Goworów do 36,5% w leśnictwie Różanka, w którym jednak stwierdzono bardzo mało szkód. Wyniki dla leśnictwa Smreczyna są w przybliżeniu tej samej wielkości. W obu sposobach uzyskano wyniki różniące się od uzyskanych przez leśniczych. Najmniejsza różnica w oszacowanych szkodach dotyczy leśnictwa Lesica, w pozostałych leśnictwach szacunki są niższe, zarówno dla sposobu pierwszego, jak i drugiego.

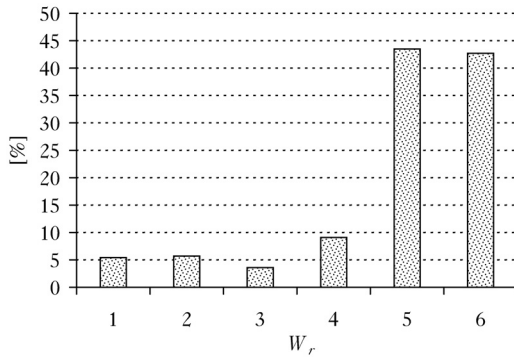
Lasy Nadleśnictwa Międzyzlesie charakteryzowały się w pierwszej połowie 2015 roku dużym udziałem (33,5%) powierzchni 5 klasy – wysokiego ryzyka uszkodzenia i jeszcze większym udziałem (42,7%) klasy 6 – bardzo wysokiego ryzyka, są to więc lasy o małej odporności na uszkodzenie przez wiatr (ryc.). Wynika to m.in. z dużego udziału słabo odpornych na wiatr drzewostanów świerkowych (81%), w ponad 36% starszych niż 80 lat. Biorąc pod uwagę miąższość określoną sposobem pierwszym, a więc pozyskaną z SILP, największy jej udział (70,5%) wystąpił w klasie 6 – bardzo wysokiego ryzyka, a następnie (25,9%) w klasie 5 – wysokiego ryzyka. Podobny podział dotyczy miąższości określonej modelem wzrostu drzewostanu: w klasie 6 zagrożenia udział miąższości (74,5%) jest największy, wysoki (23,5%) jest również w klasie 5. Równomierne

Tabela.

Powierzchnia (A [ha]) i miąższość (V [m³]) złomów i wywrotów w poszczególnych leśnictwach Nadleśnictwa Międzyzlesie określona na podstawie różnych metod

Area (A [ha]) and volume (V [m³]) of windthrows in the forest districts of Międzyzlesie Forest Districts calculated with different methods (SILP – State Forests Information System)

| | Zobrazowania satelitarne i SILP | | Szacunki leśniczych | Model wzrostu |
|----------------|------------------------------------|---------|-------------------------|----------------------------|
| | Satellite images and SILP | | Foresters' estimates | drzewostanu i SILP |
| | A | V | V | Growth model and SILP V |
| Nowa Wieś | 15,62 | 5 207 | 3 140 | 5 748 |
| Goworów | 149,46 | 62 110 | 25 400 | 65 928 |
| Jodłów | 28,68 | 13 713 | 10 000 | 15 146 |
| Różanka | 2,00 | 391 | 0 | 417 |
| Smreczyna | 110,39 | 56 448 | 40 000 | 56 210 |
| Lesica | 62,02 | 22 790 | 25 000 | 24 246 |
| Razem Total | 368,17 | 160 663 | 103 540 | 167 734 |



Ryc.
 Udział powierzchni drzewostanów [%] w klasach współczynnika ryzyka W_r
 Share of stand area in different classes of risk coefficient W_r

rozmieszczenie dominujących drzewostanów o wysokim i bardzo wysokim współczynniku ryzyka uszkodzenia W_r na terytorium nadleśnictwa oznacza silne zagrożenie drzewostanów całego nadleśnictwa. Zagrożenie to prawdopodobnie jeszcze wzrośnie po ostatniej kłęse.

Dyskusja

Tematyka szacowania powierzchni uszkodzeń drzewostanów spowodowanych przez wiatr omawiana była w wielu pracach naukowych dotyczących teledetekcji. W zależności od przyjętych założeń metodycznych i stopnia szczegółowości analiz dokładność określania powierzchni uszkodzonych drzewostanów wynosiła w pracach od 60 do 100%.

Dotychczasowe analizy prowadzone były na podstawie zobrażeń satelitarnych Landsat [Rich i in. 2010; Koziański, Nienartowicz 2013; Baumann i in. 2014; May 2015], SPOT 4 i 5 [Schwarz i in. 2003; Yesou i in. 2003] oraz Ikonos [Taguchi i in. 2013]. Polegały one głównie na analizie zmian wartości pikseli w poszczególnych zakresach spektralnych oraz wartości wskaźników wegetacyjnych, takich jak NDVI lub WDRVI. Podobną metodę zastosowali autorzy w niniejszej pracy. Do identyfikacji obszarów uszkodzonych przez huraganowy wiatr wykorzystywano także Numeryczny Model Pokrycia Terenu [Yesou i in. 2003; Honkavaara i in. 2013] oraz dane radarowe AeS-1, E-SAR, ERS-1 i ERS-2 [Maire, Yesou 2003; Schwarz i in. 2003].

Dane teledetekcyjne wykorzystać można także do oszacowania miąższości wywrotów i złomów. Inwentaryzacji ponad 300 tys. m³ uszkodzonych drzewostanów w 2002 roku w Puszczy Piskiej dokonał m.in. Wężyk [2006]. Koziański i Nienartowicz [2013] przeprowadzili natomiast kartowanie powierzchni leśnych w Borach Tucholskich uszkodzonych przez huraganowe wiatry w 1999 i 2000 roku (350 tys. m³). Próbę określenia cech drzewostanów wpływających na rozmiar szkód oraz oszacowanie ich wielkości z wykorzystaniem teledetekcji (zdjęcia lotnicze) oraz GIS wykonali m.in. Będkowski i Norman [2002].

Miąższość wywrotów i złomów oszacowana na podstawie pola powierzchni oraz informacji o miąższości wydzieleń z SILP może jednak okazać się zaniżona. Wynika to ze sposobu określania miąższości drzewostanu na podstawie informacji z warstw stratyfikacyjnych dotyczących wieku oraz gatunku głównego [Bruchwald, Zajczkowski 2002].

Liczne prace opisują wykorzystanie modelu wzrostu drzewostanu, wśród nich prognozowanie rozwoju zasobów drzewnych [Bruchwald 1998, 2002]. Oznacza to jednocześnie możliwość określania użytkowania surowca drzewnego w zakresie cięć rębnych i przedrębnych oraz konsekwencje związane z realizowanymi cięciami. Na tej podstawie, przy wykorzystaniu modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr, stanowiącego algorytm modelu wzrostu drzewostanu, można również prognozować ryzyko powstawania szkód w lasach.

Czynniki powstawania w drzewostanach szkód spowodowanych przez wiatr podzielić można na niezależne i zależne od prowadzonej gospodarki leśnej. Do niezależnych zaliczyć można prędkość wiatru, w tym w porywach, czas jego trwania oraz towarzyszące mu zjawiska pogodowe, np. intensywność opadów atmosferycznych. Czynniki powiązane z gospodarką leśną wiążą się z kształtowaniem odporności lasu na niesprzyjające warunki atmosferyczne, w tym wiatr.

Zastosowany w pracy model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr umożliwił uzyskanie informacji o zagrożeniu poszczególnych drzewostanów, a tym samym lasów nadleśnictwa. Na jego podstawie można dociekać przyczyn tych zagrożeń i podejmować działania obniżające ryzyko uszkodzenia drzewostanów przez wiatr. Stwierdzono, że lasy Nadleśnictwa Międzyzylesie należą do grupy najbardziej zagrożonych w Polsce, a główną przyczyną tego zagrożenia jest duża powierzchnia mało odpornych na wiatr starych drzewostanów świerkowych.

Wnioski

- ✦ Wysokorozdzielcze zobrazowania satelitarne mogą być wykorzystywane do oceny rozmiaru szkód spowodowanych przez ekstremalne zjawiska pogodowe zamiast, obarczonego stosunkowo dużym błędem, długotrwałych szacunków terenowych. Dokładność tego typu analiz waha się od 70 do 95%. Możliwe jest ich przeprowadzenie również za pomocą darmowego oprogramowania dostępnego w Internecie (np. QGIS).
- ✦ Na dokładność analizy wpływają m.in.: ukształtowanie terenu, kąt padania promieni słonecznych, pora roku, właściwości atmosfery, podłoża i samego drzewostanu. W celu wyeliminowania niekorzystnego wpływu tych czynników stosuje się różnego rodzaju korekcje (atmosferyczną, geometryczną i radiometryczną).
- ✦ Powstanie szkód na większym obszarze wymaga szeregu działań, do podjęcia których niezbędne są szybko pozyskane i wiarygodne dane. Dlatego też informacje opracowane na podstawie zobrażeń satelitarnych i modelu wzrostu drzewostanu mogą przyspieszyć i zoptymalizować usuwanie szkód.
- ✦ Zobrazowania satelitarne umożliwiają przeanalizowanie trudno dostępnych terenów, do których dotarcie po wystąpieniu zjawisk atmosferycznych może sprawiać duże kłopoty.
- ✦ Stosowanie modelu wzrostu drzewostanu, przy znajomości powierzchni uszkodzeń drzewostanów, umożliwia szybkie określenie miąższości złomów i wywrotów. Miąższość ta jest o 4,4% większa od miąższości określonej na podstawie danych SILP. Można oczekiwać, że miąższość określona na podstawie modelu wzrostu będzie bliższa wartości rzeczywistej.
- ✦ Stosując model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr, uzyskuje się informacje o stopniu zagrożenia lasów nadleśnictwa. Model może zatem stanowić podstawę do podjęcia prac nad obniżeniem ryzyka powstania szkód spowodowanych przez wiatr.
- ✦ Wyniki badań uzyskane w niniejszej publikacji stanowią argumenty przemawiające za wdrożeniem zobrażeń satelitarnych, modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr i modelu wzrostu drzewostanu do praktyki leśnictwa.

Literatura

- Baumann M., Ozdoba M., Wolter P. T., Krylov A., Vladimirova N., Radeloff C. 2014. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance. *Remote Sensing of Environment* 143: 171-179.
- Będkowski K., Norman H. 2002. Zastosowanie technik geomatycznych do analizy rozmiaru i rozmieszczenia szkód spowodowanych w lasach przez huraganowe wiatry. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 12a: 37-48.
- Bruchwald A. 1986. Simulation growth model MDI-1 for Scots pine. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR. For. and Wood Technol.* 34: 47-52.
- Bruchwald A. 1998. Potencjał produkcyjny lasów Polski. *Materiały i Dokumenty, Kongres Leśników Polskich* 24-26 kwietnia 1997, t. II, cz. 1. 241-248.

- Bruchwald A. 2002.** Warunki stosowania metod modelowania matematycznego przy sporządzaniu planu urządzenia lasu. W: Stępień E. [red.]. Urządzenie lasu wielofunkcyjnego. Opinie, poglądy, propozycje. Wyd. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa. 177-188.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010.** Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Leś. Pr. Bad. 71 (2): 165-173.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2011.** Zastosowanie modeli ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr do oceny zagrożenia lasów nadleśnictwa. Sylwan 155 (7): 459-471.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2012.** Ryzyko powstawania szkód w drzewostanach poszczególnych nadleśnictw Polski. Sylwan 156 (1): 19-27.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 1996.** Model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego. Sylwan 140 (10): 35-44.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 2003.** Model wzrostu dla olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Sylwan 147 (8): 3-10.
- Bruchwald A., Zajączkowski S. 2002.** Obrębowa metoda inwentaryzacji lasu oparta na losowaniu warstwowym. Sylwan 146 (10): 13-23.
- Honkavaara E., Litkey P., Nurminen K. 2013.** Automatic Storm Damage Detection in Forests Using High-Altitude Photogrammetric Imagery. Remote Sensing 5: 1405-1424.
- Kondracki J. 1994.** Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne. PWN, Warszawa.
- Koziński G., Nienartowicz A., 2013.** Rozmieszczenie przestrzenne i wielkość szkód spowodowanych przez wiatr w lasach wybranych obszarów Pomorza. W: Kunz M., Nienartowicz A. [red.]. Systemy informacji geograficznej w zarządzaniu obszarami chronionymi – od teorii do praktyki. 72-84.
- Maire C., Yesou H. 2003.** Storm Forest Damage Mapping based on VHR InSAR data. Proc. of FRINGE Workshop, Frascati, Italy, 1-5 December 2003 (ESA SP-550, June 2004).
- May J. 2015.** Semi-Automatic Detection of Storm-Felled Forest Areas in Western Norway's Spruce Forests Using a Landsat Time Series and Change Detection. University of Sustainable Development. Eberswalde, Germany.
- Rich R. L., Frelic L., Reich P. B., Bauer M. E. 2010.** Detecting wind disturbance severity and canopy heterogeneity in boreal forest by coupling high-spatial resolution satellite imagery and field data. Remote Sensing of Environment 114: 299-308.
- Schwarz M., Steinmeier Ch., Holecz F., Stebler O., Wagner H. 2003.** Detection of Windthrow in Mountainous Regions with Different Remote Sensing Data and Classification Methods. Scandinavian Journal of Forest Research 18: 525-536.
- Taguchi H., Usuda Y., Fukui H., Furutani T., Kurutawa F. 2013.** Forest Damage Detection Using High Resolution Remotely Sensed Data. Training 1: 2. Keio University, Endo, Fujisawa, Kanagawa, Japan.
- Wang X., Zhou B. 2013.** Assessment of the Forest Damage by Typhoon Saomai using Remote Sensing and GIS. Nature Environment and Pollution Technology 12 (1): 121-124.
- Wężyk P. 2006.** Integracja technologii geoinformatycznych w analizie uszkodzeń lasu spowodowanych przez huragan w Puszczy Piskiej. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji 16: 133-150.
- Yesou H., Clandillion S., Meyer C., Allenbach B., Maire C., de Fraipont P. 2003.** Operational Mapping of storm forest damage and assessment of future VHR SAR and optical sensors. Geoinformation for European wide Integration, Millpress, Rotterdam.