

ARKADIUSZ BRUCHWALD, ELŻBIETA DMYTERKO

Stochastyczny model określania miąższości złomów, wywrotów i posuszu*

Stochastic model for calculating the volume of wind-broken and wind-thrown wood as well as of deadwood

ABSTRACT

Bruchwald A., Dmyterko E. 2014. Stochastyczny model określania miąższości złomów, wywrotów i posuszu. Sylwan 158 (4): 258-266.

The most recent version of the wind damage risk model was published in 2012. The model is based on eleven stand characteristics of which stand damage that occurred in the last decade is among the most important ones. It is expressed as the volume of wood obtained from wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood. Not taking this feature into consideration would undermine the value of this damage risk factor. In the study, the material contained in the database of the State Forests Information System was used to develop a model for calculating the volume of wood obtained from wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood. This allowed to apply the stand damage risk model to determine, *inter alia*, the risk of damage in a multi-variant forecast of timber resources.

KEY WORDS

damage, risk model, wind

ADDRESSES

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

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

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

Wstęp

Z drzewostanu wydziela się co roku pewna liczba drzew. Nasilenie tego procesu mierzone liczbą drzew jest największe w okresie młodnika i słabnie z czasem. Jeżeli nasilenie wypadania drzew mierzone jest miąższością grubizny, to proces ten rejestrować można, gdy drzewa mają pierśnicę większą niż 7 cm, co w przybliżeniu odpowiada ich wysokości 7 m. Posusz taki ma już wartość użytkową i pewna jego część może być pozyskiwana i wywożona z lasu.

Na obszarze naszego kraju często wieją silne wiatry, przyjmujące niekiedy charakter trąby powietrznej. W lasach powstają wówczas duże szkody, mające postać złomów i wywrotów. Niektórym drzewom wiatr podrywa system korzeniowy, co przyspiesza proces ich usychania. Szkody w lesie wywołują również opady mokrego śniegu i oblodzenie drzew, łamiąc gałęzie i pnie, a często silnie i trwale wyginając drzewa, w wyniku czego nie mogą one powrócić do pozycji pionowej. Przedłużające się okresy niedoboru opadów atmosferycznych i wysokiej temperatury, wpływające na ujemny klimatyczny bilans wodny [Durło 2007], osłabiają także witalność drzew, nasilając proces ich usychania.

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

Obniżenie witalności drzew zachodzi również pod wpływem czynników antropogenicznych, np. emisji przemysłowych. W ostatniej dekadzie oddziaływanie tego czynnika na procesy wzrostowe drzew wyraźnie zmalało [Wawrzoniak i in. 2011]. Duży wpływ na proces wypadania drzew mają czynniki biotyczne, zwłaszcza grzyby i owady. Ich intensywny rozwój powoduje niekiedy wielkopowierzchniowe szkody, wyrażane zarówno powierzchnią zniszczeń, jak i miąższością uschniętych drzew. Przykładem jest gradacja brudnicy mniszki, która wystąpiła w latach 1978-1983 na północy kraju, obejmując kilka milionów hektarów lasu [Śliwa 1989]. Szkody te spotęgowane zostały przez listopadowy huragan z 1981 roku. Pozyskana po tym huraganie miąższość złomów i wywrotów w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Gdańsku wyniosła około 1,6 mln m³.

W Polsce opracowano modele wzrostu drzewostanu dla najważniejszych gatunków drzew [Bruchwald 1986; Zasada 1995; Bruchwald i in. 1996, 2003; Bruchwald, Zasada 2010]. Prezentowano je w licznych artykułach naukowych, a także na konferencjach międzynarodowych [Bruchwald 1989, 2001]. Pierwsze opracowania dotyczyły drzewostanów jednowiekowych i jednogatunkowych, a obecnie funkcjonują już modele wzrostu dla drzewostanów składających się z grup drzew różniących się gatunkiem i (lub) wiekiem. Modele wzrostu służą głównie do prognozowania rozwoju zasobów drzewnych. Dzięki nim uzyskuje się informacje m.in. o możliwości pozyskania surowca drzewnego, zarówno w cięciach rębnych, jak i przedrębnych w najbliższym i dalszych dziesięcioleciach [Bruchwald 1993, 1995, 1998; Siekierski 1995].

W ostatnich latach opracowano model ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr, składający się z kilku wariantów [Bruchwald, Dmyterko 2010, 2011, 2012a, b]. Wariant najpełniejszy, a zarazem najbardziej skomplikowany, uwzględnia 11 cech, w tym dla lasów górskich cechy rzeźby terenu. Model ryzyka uszkodzenia drzewostanu może stanowić integralną część modelu wzrostu drzewostanu. Tym samym, stosując oba modele, można prognozować ryzyko powstania szkód wywołanych przez wiatr w okresie kilku najbliższych dziesięcioleci. Wymaga to jednak opracowania prognozy rozwoju cech uwzględnionych w modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu. Dla większości tych cech (np. wysokości drzewostanu, jego pierśnicy, składu gatunkowego, czynnika zadrzewienia) prognozę można przeprowadzić za pomocą modelu wzrostu drzewostanu. W modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu ważną rolę odgrywa informacja o miąższości drzew wydzielających się w postaci posuszu, złomów i wywrotów, której nie można uzyskać, stosując model wzrostu drzewostanu. Rozwiązanie problemu wymaga podjęcia badań nad procesem wydzielania się drzew w celu budowy modelu służącego do prognozowania miąższości wydzielającego się posuszu oraz złomów i wywrotów. Zaprezentowanie takiego modelu jest celem niniejszej pracy.

Materiał i metody

Badania oparto na materiałach zawartych w bazie danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP). Są to dane dotyczące miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu w poszczególnych wydzieleniach drzewostanowych wszystkich nadleśnictw Polski. Pochodzą one z okresu od przeprowadzenia ostatniej inwentaryzacji w nadleśnictwie do 2011 roku. Uwzględniono zatem 432 nadleśnictwa i 17 regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych, a liczba rekordów z danymi wynosiła blisko 2,5 mln.

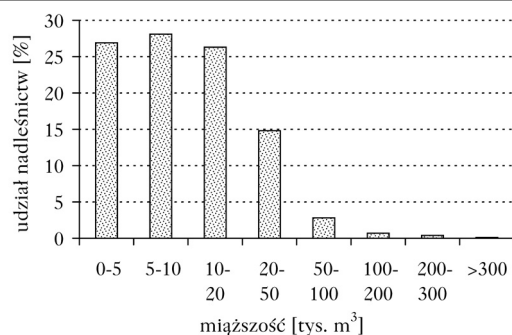
Wyniki i dyskusja

W nadleśnictwach Polski pozyskuje się średnio w roku 15 tys. m³ miąższości złomów, wywrotów i posuszu. Zakres tej cechy kształtuje się od wartości bliskiej 0 do przekraczającej 300 tys. m³.

W jej rozkładzie dominuje klasa 5-10 tys. m³ (28%) i następnie klasa 0-5 tys. m³ (27%) (ryc. 1). Wysoki jest również udział szerszej od poprzednich klasy 10-20 tys. m³ (26%). Nadleśnictwa charakteryzują się bardzo różną wielkością powierzchni. Wynosi ona średnio 16,3 tys. ha i waha się od 5,1 do 32,1 tys. ha. Analizę miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu w nadleśnictwach przeprowadzono po przeliczeniu jej na jednostkę powierzchni.

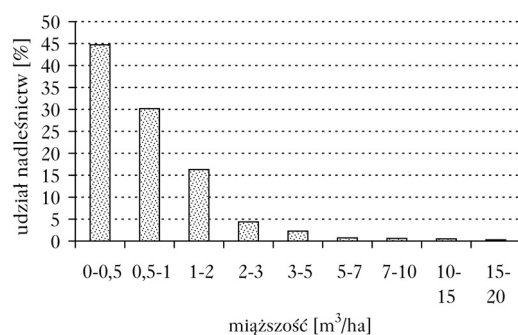
W lasach Polski pozyskuje się średnio w roku miąższość w postaci złomów, wywrotów i posuszu wynoszącą 1,0 m³/ha. Zakres wartości tej cechy dla nadleśnictw wynosi od 0 do 36 m³/ha. Jej rozkład opracowany dla klas o nierównej szerokości jest jednoboczny (ryc. 2). Dominują nadleśnictwa w klasie pierwszej, o zakresie wartości 0-0,5 m³/ha (45%), dość wysoki udział występuje również w klasie następnej 0,5-1,0 m³/ha (30%). Miąższość drzew wydzielających się w drzewostanach nadleśnictwa różni się od miąższości drzew pozyskanych, ponieważ nie wszystkie drzewa, które wypadły, są pozyskane, a więc zapisane w bazie danych SILP. Jeżeli zatem przeprowadza się ilościową ocenę procesu wydzielania się drzew na podstawie wielkości ich pozyskania, to ocena nasilenia tego procesu będzie przybliżona, najczęściej zaniżona. Brak danych dotyczących miąższości wydzielonego posuszu, złomów i wywrotów uzasadnia zastępowanie tej informacji miąższością pozyskanych wymienionych grup drzew.

W Polsce można wyróżnić obszary o bardzo różnym oddziaływaniu czynników abiotycznych na las, a więc o zróżnicowanych szkodach spowodowanych przez te czynniki, w tym przez wiatr. Przeprowadzona dla kraju przestrzenna analiza wysokości szkód w lesie pozwoliła na wyróżnienie takich obszarów [Bruchwald, Dmyterko 2012a]. Każdemu nadleśnictwu, a tym samym i każdemu drzewostanowi, przyporządkowano współczynnik regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu, o zakresie od 0 do 3. Ze wzrostem współczynnika wzrasta zagrożenie lasów nadleśnictwa przez czynniki abiotyczne. Najwięcej nadleśnictw o niskim zagrożeniu występuje w regionalnych dystryktach LP w Toruniu, Warszawie i Lublinie, a o zagrożeniu wysokim w dystryktach we Wrocławiu, w Katowicach, Białymstoku, Olsztynie i Gdańsku.



Ryc. 1.

Udział nadleśnictw w klasach miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu
Share of forest districts in classes of volume obtained from wind-broken and wind-thrown trees as well as of dead wood



Ryc. 2.

Udział nadleśnictw w klasach miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu
Share of forest districts in classes of wood volume obtained from wind-broken and wind-thrown trees as well as of dead wood

Dla poszczególnych wartości współczynnika regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu (W_{rru}) obliczono udział nadleśnictw w klasach miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu (ryc. 3). Wartościom współczynnika 0, 1 i 2 odpowiada rozkład jednoboczny, natomiast wartości 3 – dodatnio asymetryczny. Średnia arytmetyczna miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu, odpowiadająca współczynnikowi $W_{rru}=0$, wynosi $0,38 \text{ m}^3/\text{ha}$ i waha się w poszczególnych nadleśnictwach od 0 do $2,0 \text{ m}^3/\text{ha}$. Odpowiednie wartości dla $W_{rru}=1$ wynoszą: średnia arytmetyczna $0,56 \text{ m}^3/\text{ha}$ i zakres wahań $0-4,6 \text{ m}^3/\text{ha}$, dla $W_{rru}=2$: $0,84 \text{ m}^3/\text{ha}$ i $0-7,4 \text{ m}^3/\text{ha}$, a dla $W_{rru}=3$: $2,30 \text{ m}^3/\text{ha}$ i $0-36,1 \text{ m}^3/\text{ha}$. Wyższej wartości współczynnika regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu odpowiada większa średnia miąższość i szerszy zakres miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu.

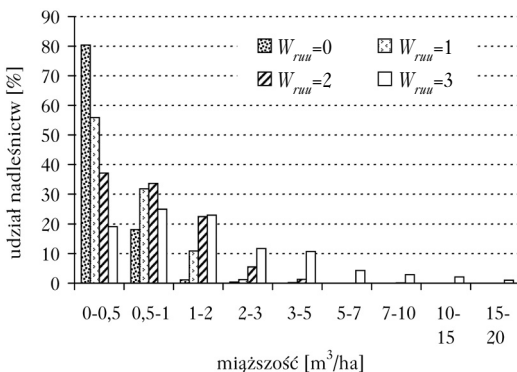
Cechą drzewostanu, od której w dużym stopniu zależy współczynnik ryzyka uszkodzenia przez wiatr, jest średnia wysokość gatunku głównego drzewostanu [Bruchwald, Dmyterko 2011]. Wyższej średniej wysokości gatunku odpowiada większy współczynnik ryzyka uszkodzenia, a więc większe zagrożenie drzewostanu. Uwzględniając tę cechę oraz współczynnik regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu W_{rru} , obliczono udział nadleśnictw w klasach miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu, przeliczonej na 1 hektar. Po skumulowaniu udziału otrzymano empiryczną dystrybuantę, a tym samym empiryczne prawdopodobieństwo powstania w drzewostanie szkody o określonej wysokości (tab. 1). Uzyskane empiryczne dystrybuanty stały się podstawą budowy stochastycznego modelu określania miąższości złomów, wywrotów oraz posuszu w lasach Polski. Model ten nazwano w skrócie drzewostanowym modelem szkód (DMS).

Budując drzewostanowy model szkód, przyjęto następujące założenia:

- 1) jednostką statystyczną jest drzewostan;
- 2) cechą jest pozyskana w drzewostanie miąższość złomów, wywrotów i posuszu, przeliczona na 1 ha;
- 3) pozyskaną w drzewostanie miąższość złomów, wywrotów i posuszu przyjęto za miąższość, jaka wydzieli się w drzewostanie w procesie naturalnego wydzielenia się drzew oraz wskutek wpływu czynników abiotycznych; tę łączną miąższość nazwano szkodą w drzewostanie;
- 4) podstawą wyznaczania szkód w drzewostanie jest empiryczna dystrybuanta (tab. 1).

W drzewostanowym modelu szkód wyróżnia się kilka etapów:

- 1) określa się dla nadleśnictwa współczynnik regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu W_{rru} (tab. 2);
- 2) ustala się dla drzewostanu danego nadleśnictwa średnią wysokość gatunku głównego;



Ryc. 3.

Udział nadleśnictw w klasach miąższości pozyskanych złomów, wywrotów i posuszu, z uwzględnieniem współczynnika regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu (W_{rru})

Share of forest districts in classes of wood volume obtained from wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood taking into account the regional stand damage risk factor (W_{rru})

Tabela 1. c.d.

Miąższość [m ³ /ha]	5-10 m	10-15 m	15-20 m	20-25 m	25-30 m	>30 m
			$W_{rru}=3$			
0-0,5	0,9636	0,9223	0,8309	0,8370	0,7745	0,6795
0,5-1	0,9702	0,9344	0,8551	0,8622	0,8031	0,7102
1-2	0,9773	0,9489	0,8870	0,8945	0,8434	0,7570
2-3	0,9816	0,9585	0,9075	0,9149	0,8711	0,7903
3-5	0,9864	0,9700	0,9324	0,9397	0,9059	0,8363
5-7	0,9896	0,9767	0,9474	0,9542	0,9275	0,8636
7-10	0,9923	0,9830	0,9610	0,9674	0,9474	0,8914
10-15	0,9947	0,9883	0,9733	0,9790	0,9661	0,9210
15-20	0,9960	0,9913	0,9800	0,9851	0,9760	0,9417
20-50	0,9987	0,9971	0,9926	0,9960	0,9940	0,9845
50-100	0,9995	0,9990	0,9963	0,9988	0,9984	0,9965
100-200	0,9999	0,9997	0,9980	0,9996	0,9996	0,9995
>200	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tabela 2.

Współczynniki regionalnego ryzyka uszkodzenia drzewostanów (W_{rru}) dla nadleśnictw RDLP w Gdańsku
Regional stand damage risk factors (W_{rru}) for forest districts within the Gdańsk Regional Directorate of the State Forests

Nadleśnictwo		W_{rru}	Nadleśnictwo		W_{rru}
adres leśny	nazwa		adres leśny	nazwa	
15-01	Choczewo	2	15-09	Lębork	2
15-02	Elbląg	1	15-10	Lipusz	1
15-03	Gdańsk	2	15-11	Lubichowo	0
15-04	Kaliska	0	15-12	Starogard Gdański	3
15-05	Kartuzy	3	15-13	Strzebielino	2
15-06	Kolbudy	3	15-14	Wejherowo	2
15-07	Kościerzyna	1	15-15	Cewice	2
15-08	Kwidzyń	2			

- 3) określa się w sposób losowy wartość zmiennej losowej rozkładu jednostajnego z zakresu od 0 do 1; wartości tej odpowiada teoretyczna dystrybucja tego rozkładu;
- 4) określa się zakres klasy miąższości złomów, wywrotów i posuszu, przeliczonej na 1 ha (tab. 1), na podstawie wylosowanej zmiennej losowej, uwzględniając współczynnik regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu oraz średnią wysokość gatunku głównego drzewostanu;
- 5) wyznacza się jedną wartość miąższości złomów, wywrotów i posuszu, przeliczoną na 1 ha, stosując interpolację liniową, na podstawie określonej dystrybucji;
- 6) oblicza się iloczyn tej miąższości i powierzchni drzewostanu, który jest otrzymaną modelem, przewidywaną miąższością szkód.

Model szkód opisany wzorem ma postać:

$$V = V_D + \frac{(V_G - V_D)(Z - Z_D)}{Z_G - Z_D}, \text{ gdy } Z - Z_D > 0 \quad [1a]$$

lub

$$V = V_D, \text{ gdy } Z - Z_D < 0 \quad [1b]$$

gdzie:

- V – miąższość powstałych w drzewostanie złomów, wywrotów i posuszu, przeliczona na 1 ha,
- V_D – miąższość dolnej granicy klasy, określonej na podstawie W_{rnu} i średniej wysokości gatunku głównego drzewostanu (tab. 1),
- V_G – miąższość górnej granicy klasy,
- Z_D – skumulowane prawdopodobieństwo empiryczne wystąpienia w drzewostanie złomów, wywrotów i posuszu, odczytane z tabeli 1 dla dolnej granicy klasy,
- Z_G – skumulowane prawdopodobieństwo empiryczne wystąpienia w drzewostanie złomów, wywrotów i posuszu, odczytane z tabeli 1 dla górnej granicy klasy,
- Z – wylosowana wartość zmiennej losowej rozkładu jednostajnego.

Gdy dla nadleśnictwa dane wynoszą: współczynnik regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu $W_{rnu}=2$, średnia wysokość gatunku głównego drzewostanu 28 m, a wylosowana wartość zmiennej losowej rozkładu jednostajnego $Z=0,9433$, to korzystając z tabeli 1, odczytuje się odpowiednie dane, które podstawia się do wzoru 1a, otrzymując miąższość powstałych w drzewostanie złomów, wywrotów i posuszu:

$$V = 3 + \frac{(5 - 3)(0,9433 - 0,9221)}{0,9518 - 0,9221} = 3 + 1,43 = 4,43$$

Otrzymane drzewostanowym modelem szkód dane można wykorzystać w modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu (w wariancie 4 dla lasów nizinnych lub w wariancie 5 dla lasów górskich) do symulowania zagrożenia drzewostanów nadleśnictwa przez czynniki abiotyczne [Bruchwald, Dmyterko 2012a]. Zarówno model szkód, jak i model ryzyka uszkodzenia drzewostanu mogą stanowić aplikację modelu wzrostu drzewostanu. Istnieje wówczas możliwość wykonania kilku-wariantowej prognozy rozwoju zasobów drzewnych, wraz z informacją o stopniu zagrożenia tych zasobów przez czynniki abiotyczne.

Wnioski

- ✦ Drzewostanowym modelem szkód, zaprezentowanym w pracy, określa się miąższość powstałych w drzewostanie złomów, wywrotów i posuszu. Model wymaga wcześniejszego ustalenia współczynnika regionalnego ryzyka uszkodzenia lasu oraz średniej wysokości gatunku głównego drzewostanu. Stochastyczny charakter modelu nadaje mu losowana zmienna rozkładu jednostajnego.
- ✦ Drzewostanowy model szkód można wykorzystać jako element modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu, zwłaszcza wówczas, gdy brak jest danych o miąższości powstałych w drzewostanie złomów, wywrotów i posuszu.
- ✦ Drzewostanowy model szkód w powiązaniu z modelem wzrostu drzewostanu i modelem ryzyka uszkodzenia drzewostanu może być wykorzystany do oceny zagrożenia rozwoju zasobów leśnych nadleśnictwa oraz jednostek wyższego rzędu, w tym również całego kraju. Modele te mogą wykorzystywać dane zawarte w bazie Systemu Informacyjnego Lasów Państwowych (SILP), a także dane otrzymywane z inwentaryzacji wielkoobszarowej.
- ✦ Drzewostanowy model szkód wraz z modelem ryzyka uszkodzenia drzewostanu można wykorzystać do oceny zagrożenia lasów niebędących własnością Skarbu Państwa. Stosując te modele z uwzględnieniem modelu wzrostu drzewostanu, można dokonywać wariantowych symulacji rozwoju zasobów drzewnych tych lasów wraz z oceną ich zagrożenia oraz możliwością pozyskania surowca drzewnego, obecnie i w najbliższych dziesięcioletnich okresach.

Literatura

- 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. 1989. Polnische Stochastische Ertragsmodelle für Kiefer. Conference on Forest Statistics IUFRO 6.02. Freiburg i. Br. 103-108.
- Bruchwald A. 1993. Zastosowania modeli wzrostu w zarządzaniu lasu. Sylwan 137 (5): 27-40.
- Bruchwald A. 1995. Metoda regulacji użytkowania przedrębego. Sylwan 139 (6): 5-13.
- Bruchwald A. 1998. Optymalizacja planu cięć przedrębnych. W: Użytkowanie lasu i problemy regulacji użytkowania lasu w Polsce. 78-86.
- Bruchwald A. 2001. Möglichkeiten der Anwendung von Wachstmodellen in der Praxis der Forsteinrichtung. Beiträge für Fortwirtschaft und Landschaftsökologie 3: 118-122.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010. Metoda określenia ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Leśne Prace Badawcze 71 (2): 165-163.
- 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. 2012a. Ryzyko powstawania szkód w drzewostanach poszczególnych nadleśnictw Polski. Sylwan 156 (1): 19-27.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2012b. Zagrożenie lasu przez wiatr na przykładzie nadleśnictw Puszczy Białowieskiej. Sylwan 156 (10): 750-764.
- 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., Zasada M. 2010. Model wzrostu modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.). Sylwan 154 (9): 615-624.
- Durlo G. B. 2007. Klimatyczny bilans wodny okresów wegetacyjnych w Beskidach Zachodnich. Acta Agrophysica 19 (3): 553-562.
- Siekierski K. 1995. Zastosowanie modeli wzrostu w regulacji użytkowania rębego drzewostanów. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.
- Śliwa E. 1989. Przebieg masowego pojawu brudnicy monachi (*Lymantria monacha* L.) i jej zwalczania w Polsce w latach 1978-1985 oraz regeneracja aparatu asymilacyjnego w uszkodzonych drzewostanach. Prace Inst. Bad. Leśn. 710.
- Wawrzoniak J., Hildebrand R., Kluziński L., Kowalska A., Lech P., Małachowska J., Piwnicki J., Stolarek A., Szczygieł R., Ślusarski S., Tyszką J., Wójcik J. 2011. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 2010 roku na podstawie badań monitoringowych. Instytut Badawczy Leśnictwa. Sękocin Stary.
- Zasada M. 1995. Empiryczny model wzrostu wysokości jodły. Sylwan 139 (5): 71-77.

SUMMARY

Stochastic model for calculating the volume of wind-broken and wind-thrown wood as well as of deadwood

A risk model for stand damage caused by wind was developed in Poland. Its recent version was published in 2012. The model determines the damage risk factor for individual forest stands ranging from 0 to 3. Its higher value indicates a higher risk factor for the stand. The model is based on eleven stand characteristics of which stand damage that occurred over the last decade is among the most important ones. It is expressed as the volume of wood obtained from wind-fallen and wind-broken as well as of deadwood. In the absence of this characteristic, the damage risk factor values are lower. Therefore a method to simulate this characteristic should be developed using a stand damage model for determining the volume of wood from wind-fallen and wind-broken trees as well as of deadwood.

A stand damage model was developed using the empirical material contained in the database of the State Forests Information System (SILP) which relate to the volume of wood obtained from wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood in individual stands in all Forest

Districts in Poland in the years 2004-2011. Using two characteristics: the average height of the main species in a forest stand and the regional stand damage risk factor, a table of empirical cumulative probability distributions of wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood. Individual values of the probability relate to the predicted volume of wood per hectare [m^3/ha] of wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood in the forest stand.

In order to assess the volume of wood obtained from wind-fallen, wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood that may occur in a given stand during the year, the following should be done:

- 1) determine the regional stand damage risk factor for a forest district,
- 2) determine the average height of the main tree species in a stand for a given forest district,
- 3) draw a uniform distribution of the random variable, in the range from 0 to 1,
- 4) read from the table the range of volume class for wood of wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood and determine the volume of wood [m^3/ha] obtained from wind-broken and wind-thrown trees as well as of deadwood using linear,
- 5) calculate the product of the volume and the stand area which is the estimated volume of damage.

The data obtained from the damage model can be included in the stand damage risk model, which together with the stand growth model can be used to predict the development of standing timber resources, with additional information concerning the assessment of wind damage risk to forests.