

Wojciech GIL, Tadeusz ZACHARA*

ANALIZA SZKÓD OD WIATRU W WYBRANYCH DRZEWOSTANACH ŚWIERKOWYCH I SOSNOWYCH

ANALYSIS OF WIND DAMAGES IN SPRUCE AND PINE STANDS

Abstract. *The aim of the study was to analyse a particular cases of local damages from wind that had place in the State Forests Holding during the last 5 years in Damnica, Kolbudy, Kartuzy and Nidzica Forest Districts. Additionally, evaluation of possible limitation of those damages through silvicultural measures was carried out.*

The spatial analysis made in Ripley $K(t)$ method (in $L(t)$ modification) shows that in spruce and pine stands, in middle and old age classes, random model of distribution prevails. It shows tendency to change into cluster pattern, as a result of damages.

The analysis of biometric features indicates a great significance in shaping of wind resistance such features as slenderness and relative crown length. The study proved importance of forest edge structure, built from strongly tapered trees growing at the edge of the stand. However, those trees shall not be branched too low.

The importance of group resistance increases in stands older than the III age class. The study results show that in stands older age classes, a light thinning shall be applied. Maintenance of spatial order is of a great importance too, due to its limiting functions regarding wind entrance inside the forest.

Key words: *Scots pine, Norway spruce, wind, resistance, silviculture.*

* Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, e-mail: W.Gil@ibles.waw.pl

1. WSTĘP I CEL PRACY

Wiatr i śnieg należą do głównych czynników abiotycznych, powodujących zakłócenia w gospodarstwie leśnym. W ostatnich dziesięcioleciach aktywność szkodliwych czynników atmosferycznych wydaje się wzrastać, nie tylko w Polsce, lecz i w innych krajach europejskich (Zajączkowski 1991, Peltola i in. 1997, Nykänen i in. 1997).

Absolutne zabezpieczenie lasu przed tego typu szkodami nie jest możliwe, zwłaszcza w wypadku zjawisk ekstremalnych (Wood 1995, Talkkari i in. 2000, Mikułowski 2002), wobec czego z gospodarczego punktu widzenia do rozważenia pozostają 3 strategie (Gardiner, Quine 2000):

- 1) akceptacja ewentualnych strat,
- 2) uryczalcowanie strat (poprzez ubezpieczenia),
- 3) nakłady na zmniejszenie prawdopodobieństwa szkód.

Pierwsze dwie możliwości odnoszą się do gospodarki leśnej w warunkach wybitnie wietrznego klimatu (Quine 1995), gdzie powstawanie szkód od wiatru jest w kalkulowane w plany gospodarcze. Niniejsza praca odnosi się do trzeciej ewentualności, opartej na założeniu, że aktywna profilaktyka może w znacznym stopniu zmniejszyć wielkość strat w gospodarstwie leśnym, spowodowanych czynnikami atmosferycznymi (Zajączkowski 1991).

Poszczególni autorzy zajmujący się tym zagadnieniem kładą nacisk na różne aspekty odporności drzewostanów. Pierwsze podejście koncentruje się na kształtowaniu odporności indywidualnej, traktując smukłość drzew jako cechę decydującą o stabilności względem obu głównych czynników abiotycznych (Fries 1969, Abetz 1976, Johann 1981, Huss 1983, 1993, Stępień 1986, Konôpka i in. 1987). Warunkiem koniecznym jest w tym wypadku stosowanie luźnej więźby sadzenia i (lub) wczesne rozpoczęcie cięć pielęgnacyjnych. Nadrabianie zaległości w późniejszym wieku zwykle skutkuje wzrostem zagrożenia (Brüning i in. 1977, Andersson 1980), ze względu dłuższy czas dochodzenia do ponownego zwarcia. Pamiętać należy bowiem, iż na krótszą metę każda trzebież przynosi wzrost zagrożenia od wiatru (Quine 1995, Jalkanen, Mattila 2000).

Drugie podejście do problemu odporności względem wiatru polega na większej dbałości o stabilność zespołową oraz unikaniu „wpuszczania wiatru do lasu”, czyli przywiązywaniu większej wagi do struktury drzewostanu (Zajączkowski 1990, 1994) i jego zwarcia (Słodičak 1995), topografii terenu (Hütte 1968, Peltola i in. 1993, Talkkari i in. 2000) i ładu przestrzenno-czasowego w gospodarstwie leśnym (Zajączkowski 1991).

Strategia mieszana (Słodičak 1995) polega na dbaniu o stabilność indywidualną głównie w okresie młodnika. W drzewostanie dojrzewającym dopuszcza się tylko słabe cięcia dolne, a w ostatnich dziesięcioleciach przed wyrębem zalecana jest „cisza pielęgnacyjna” (Nielsen 1995).

Istotnym czynnikiem decydującym o odporności drzewostanów na czynniki atmosferyczne jest skład gatunkowy (Konôpka i in. 1987, Zajączkowski 1991, Peltola i in. 2000). Za najbardziej wrażliwe uważane są gatunki iglaste, przede

wszystkim świerk (Hütte 1968, Nielsen 1995, Slodičák 1995, Peltola i in. 2000). Domieszka gatunków liściastych pełni zasadniczo rolę wzmacniającą, jednak w niektórych wypadkach, zwłaszcza stosowana w formie pasowej, zamiast pożądanego wzrostu stabilności, może skutkować wzrostem zagrożenia (Savill 1983), szczególnie w okresie jesienno-zimowym, gdy bezlistne drzewa łatwo przepuszczają porywy wiatru do wnętrza lasu.

Celem pracy jest analiza wybranych przypadków lokalnych szkód od wiatru, jakie miały miejsce w Lasach Państwowych w ciągu ostatnich kilku lat, połączona z oceną możliwości zapobiegania takim szkodom, lub ich minimalizacji poprzez działania z zakresu hodowli lasu.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Obiekty badawcze

Powierzchnie badawcze założono w następujących obiektach:

- Nadleśnictwo Damnica, leśnictwo Bięcino oddz. 220i (pow. Damnica_1, Damnica_2) oraz oddz. 220c (pow. Damnica_3),
- Nadleśnictwo Kolbudy, leśnictwo Leżno, oddz. 1g (pow. Kolbudy),
- Nadleśnictwo Kartuzy, leśnictwo Drozdowo, oddz. 135h (pow. Kartuzy_1) i oddz. 136m (pow. Kartuzy_2),
- Nadleśnictwo Nidzica, leśnictwo Glinki, oddz. 212b (pow. Nidzica_1), 212a (pow. Nidzica_2) oraz leśn. Orłowo, oddz. 165o (pow. Nidzica_3).

Objęły one luki po wiatrolomach i wiatrowałach oraz fragmenty przyległego drzewostanu i miały kształt prostokąta, o powierzchni zależnej od wielkości luki.

Powierzchnie Damnica_1 oraz Damnica_2 znajdowały się w 33-letnim drzewostanie świerkowym I bonitacji na gruncie porolnym, na siedlisku określonym jako Lśw, na glebie brunatnej kwaśnej. Około 50% drzew nosiło ślady spałowania. W drzewostanie znajdowały się luki po wcześniejszych wiatrowałach.

Powierzchnia Damnica_3 położona była na siedlisku Lśw, w drzewostanie o następującym składzie gatunkowym: 3 Św 33 l., 2 Brz 33 l., 1 Md 33 l., 1 Ol 33 l., 2 Os 56 l., 1 Db 66 l. Spałowanych było około 30% drzew. Powierzchnia obejmowała znajdujący się na skraju wydzielenia pas świerka I bonitacji. Wszystkie 3 powierzchnie znajdowały się w niewielkim kompleksie leśnym położonym wśród pól.

* Praca przedstawia fragment badań prowadzonych w latach 2002–2004 w ramach tematu BLP-232 „Możliwości zwiększenia efektywności zabiegów hodowlanych w kształtowaniu odporności lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu” na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych (Zajączkowski i in. 2004)

Powierzchnia Kolbudy założona została w 80-letnim drzewostanie o składzie gatunkowym 8 Św 2 So, bonitacji I,5 dla obu gatunków, o przerywanym zwarcie, na siedlisku LMśw. Drzewostan przylegał do dużej luki po dawnym wiatrołomie.

Powierzchnia Kartuzy_1 została wytyczona w 35-letnim drzewostanie świerkowym I bonitacji na siedlisku LMśw. Powierzchnia Kartuzy_2 znajdowała się w podobnym siedliskowo obiekcie, jednak drzewostan był młodszy, bo 22-letni. Teren na obu powierzchniach był falisty. Powierzchnie znajdowały się na grzbietach wzniesień łagodnie opadających w kierunku południowym, z rynną pośrodku.

Powierzchnia Nidzica_1 założona została w drzewostanie o składzie 9 So 76 l., 1 Św 61 l., I,5 bonitacji, na siedlisku BMśw, na glebie rdzawej właściwej. W drzewostanie występował 36-letni podrost świerkowy. Powierzchnia Nidzica_2 umiejscowiona została natomiast w drzewostanie 6 So 76 l., I bon., 2 Św 76 l., II bon., 2 So 111 l., I bon., na siedlisku LMśw. Obie powierzchnie sąsiadowały od strony zachodniej ze znacznie młodszym drzewostanem.

Powierzchnia Nidzica_3 znajdowała się w 36-letnim drzewostanie sosnowym, z domieszką brzozy, była to 15-arowa kępa, w wydzieleniu ze starszym, 59-letnim drzewostanem sosnowym, bonitacji Ia, na siedlisku LMśw, na glebie rdzawo-brunatnej.

2.2. Pomiary na powierzchniach badawczych

Na powierzchniach mierzono pierśnice i wysokości wszystkich drzew stojących oraz wysokość osadzenia żywej korony. Zmierzono również zasięgi poziome koron w czterech kierunkach. Położenie drzew określono metodą współrzędnych prostokątnych, za pomocą taśmy geodezyjnej, rozciągniętej wzdłuż głównej osi. Oznaczono też położenie wszystkich pniaków, z podaniem rodzaju szkody (złamanie lub wywrot) i gatunku drzewa. Wyniki przedstawiono w formie tabelarycznej i graficznej.

2.3. Opracowanie wyników – analiza rozmieszczenia poziomego drzew

Metody analizy struktury przestrzennej populacji służą do określenia typu (wzorca) rozmieszczenia osobników w określonej płaszczyźnie. Jedną z najczęściej wykorzystywanych metod jest analiza z zastosowaniem funkcji $K(t)$ Ripleya (Szwagrzyk, Ptak 1991, Moeur 1993, Karczmarski 1999, Rouvinen i in. 2002, Bolibok 2001, 2003). Za pomocą tej funkcji można porównać rozkład odległości pomiędzy drzewami z wzorcem hipotetycznym (idealnie losowym) i sprawdzić, czy jest to wzorec losowy, równomierny czy skupiskowy (Moeur 1997). Wartości funkcji K obliczone na podstawie posiadanych danych są testowane pod kątem hipotezy o całkowitej losowości przestrzennej (CSR – complete spatial randomness) zakładającej, że punkty są rozmieszczone niezależnie od siebie.

Podstawą wyprowadzenia funkcji $K(t)$ jest założenie, że wartość oczekiwana $E[x]$ liczby obiektów, znajdujących się w odległości mniejszej lub równej t od

dowolnego obiektu, równa jest iloczynowi liczby obiektów przypadających na jednostkę powierzchni l oraz nieznaną funkcji $K(t)$:

$$E[x] = \lambda K(t)$$

$K(t)$ wynosi więc $\lambda^{-1}E[x]$.

Jeśli rozmieszczenie obiektów na powierzchni jest losowe, funkcja $K(t)$ wyrażona jest wzorem (Ripley 1977, Bolibok 2001):

$$K(t) = \pi t^2, \quad t > 0$$

Aby porównać rozmieszczenie idealnie losowe z rozmieszczeniem badanych obiektów, należy obliczyć dla nich wartość estymatora funkcji $K(t)$:

$$K(t) = n^{-2} A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}^{-1} I_t(u_{ij}) \quad i \neq j$$

gdzie:

n – liczba obiektów na powierzchni badawczej,

u_{ij} – odległość pomiędzy obiektami i oraz j ;

A – areal powierzchni badawczej

w_{ij} – współczynnik korygujący tzw. efekt brzegowy

I_t – funkcja, która przyjmuje wartość 0 (gdy $u_{ij} > t$) lub 1 (gdy $u_{ij} \leq t$),

W analizach wykonanych w ramach tematu zastosowano modyfikację funkcji $K(t)$ w transformowanej postaci estymatora tej funkcji – $\$L(t)$, który jest wygodniejszy w interpretacji, ponieważ jego wykres przyjmuje postać liniową (horyzontalnie prostoliniową dla idealnie losowego rozmieszczenia badanych obiektów).

Jeżeli drzewa rozmieszczone są na powierzchni równomiernie, wykres $\$L(t)$ znajduje się poniżej linii obrazującej losowy rozkład (Poissona), jeżeli skupiskowo – wykres funkcji $\$L(t)$ znajduje się powyżej hipotetycznej linii losowości (Moeur 1997). Wartość t , dla której wychylenie jest największe, przyjmowana jest za skalę przestrzenną, czyli zasięg stwierdzonego typu rozmieszczenia.

Funkcja $\$L(t)$ wyrażona jest wzorem (Kaluzny i in. 1996):

$$\$L(t) = \sqrt{\frac{\$K(t)}{\pi}} - t$$

Do wyznaczenia poziomów ufności analizy, czyli sprawdzenia hipotezy o całkowicie losowym wzorcu, zastosowano procedurę Monte Carlo oraz sposób określania przedziałów ufności sugerowany przez Mariotta (Moeur 1997, Bolibok 2001). Wykorzystanie tej metody wymaga wygenerowania odpowiedniej liczby rozmieszczeń losowych (np. osiągnięcie 95% poziomu ufności wymaga wyge-

nerowania 99 symulacji) przy liczbie obiektów i areale powierzchni przyjętych jak w badaniach.

W opracowaniu wyników metodą $K(t)$ Ripleya wykorzystano program statystyczny S-PLUS 4.0 z modułem S+Spatial Stats v1.1 z modyfikacją procedur wykonaną przez Boliboka (2001).

Analizie poddano rozmieszczenie drzew sprzed uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. W tym przypadku uwzględniono lokalizację drzew żywych i nieuszkodzonych, świeżych pni, drzew uszkodzonych (złamanych, przechylonych) przez wiatr oraz wykrotów.

Dla porównania stanu sprzed uszkodzenia drzewostanu ze stanem po uszkodzeniu, wykonano również analizę rozmieszczenia drzew żywych i nieuszkodzonych przez wiatr.

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Część opisowa

3.1.1. Nadleśnictwo Damnica

Na badanej powierzchni wiatrołom wystąpił po raz pierwszy w 1999 roku. W kolejnych latach następowało poszerzanie powstałych luk. Pniaki oznaczone na rycinach jako „świeże” pochodziły z sezonu jesienno-zimowego 2001/2002. Wybrane powierzchnie charakteryzowały się parametrami przedstawionymi w tabeli 1.

Na powierzchni 1, kontrolnej, niezniszczonej przez wiatr (ryc. 1), zwraca uwagę bardzo wysoka liczba drzew i pole przekroju, wysoki współczynnik smukłości oraz bardzo niska przeciętna powierzchnia korony. Daje ona obraz za-

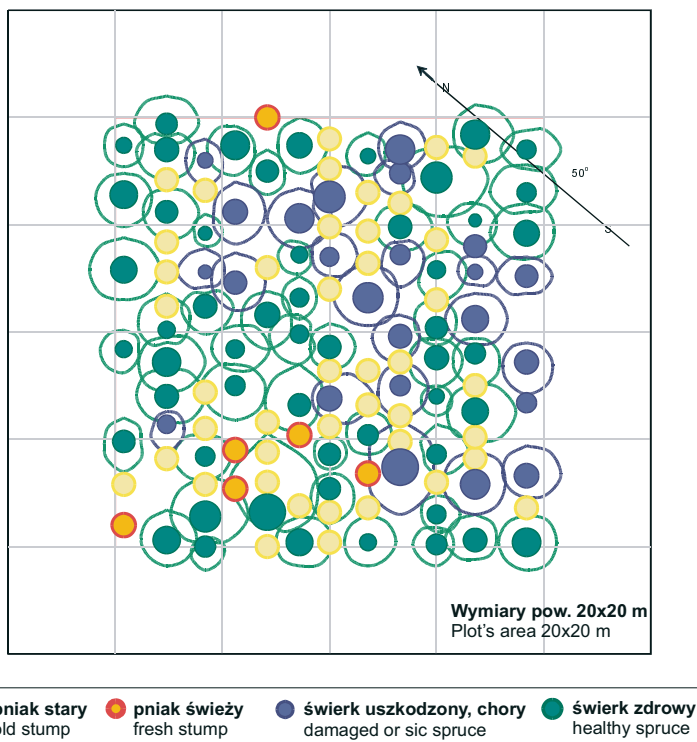
Tabela 1. Wyniki pomiarów na powierzchniach badawczych w Nadleśnictwie Damnica

Table 1. Results of measurements in research plots in Damnica Forest District

Powierzchnia badawcza Research plot	Drzewostan żywy Live stand							Uszkodzenia Damages	
	N/ha	G (m ² /ha)	H (m)	D (cm)	H/d	Lk (%)	S (m ²)	złomy broken trees N/ha	wywroty uprooted trees N/ha
Damnica_1	1900	51,885	19,8	18,3	108,0	36,1	4,2	175	–
Damnica_2	717	18,848	18,9	19,1	99,3	38,1	5,7	483	67
Damnica_3	680	30,489	18,0	21,3	84,6	57,9	8,4	440	200

Objaśnienia: N – liczba drzew, G – pole przekroju pierścicowego, H – przeciętna wysokość drzewostanu, D – przeciętna pierśnica drzewostanu, Lk – przeciętna stosunkowa długość korony, S – przeciętna powierzchnia rzutu korony

Notes: N – number of trees (per ha), G – stand basal area, H – mean stand height, D – mean stand diameter at the breast height, Lk – mean relative crown length, S – mean area of crown projection



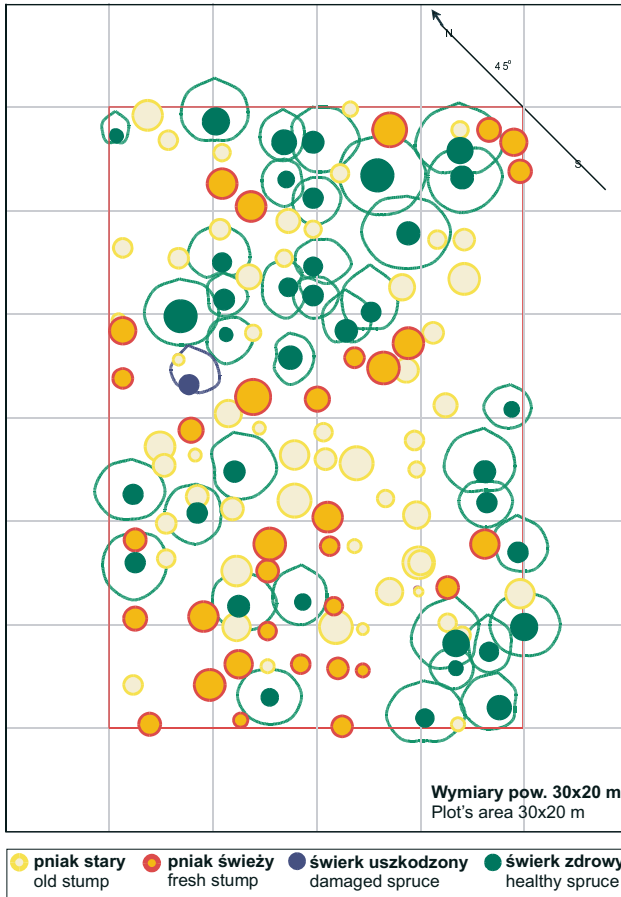
Ryc. 1. Rozmieszczenie drzew i pniaków na powierzchni badawczej *Damnica_1*

Fig 1. Distribution of trees and stumps in 'Damnica_1' research plot

gęszczenia drzewostanu przed wystąpieniem szkód. 35% drzew żywych nosiło uszkodzenia pnia będące skutkiem ich spalowania w fazie młodnika. Z zestawienia można wnosić, że liczba drzew jest znacznie wyższa niż na pozostałych powierzchniach, nawet po doliczeniu złomów i wywrotów, jakie na nich odnotowano.

Powierzchnia 2 położona w luce (ryc. 2) i obejmująca drzewa pozostałe po wiatrołomie, charakteryzuje się nieznacznie wyższą przeciętną pierśnicą oraz mniejszą wysokością, co skutkuje niższym współczynnikiem smukłości. Wśród uszkodzeń zdecydowanie przeważają złomy.

Powierzchnia 3 obejmująca skraj lasu, przyległy bezpośrednio do pól, charakteryzuje się wyższą, w porównaniu z pozostałymi, przeciętną pierśnicą oraz nieznacznie niższą przeciętną wysokością. Zdecydowanie niższa jest smukłość drzew, natomiast znacznie wyższa przeciętna powierzchnia rzutu korony. Jest to spowodowane obecnością drzew okrajowych, o silniej rozbudowanych koronach. Należy zwrócić uwagę na fakt, że większość spośród tych drzew wytrzymała napór wiatru, natomiast silne uszkodzenia wystąpiły bezpośrednio za ich linią (ryc. 3). Podobnie jak w poprzednim wypadku, przeważały złamania, jednak w porównaniu powierzchnią 2 zanotowano większą liczbę wywrotów, co może oznaczać płytsze uкорzenie świerka w tej części obiektu.

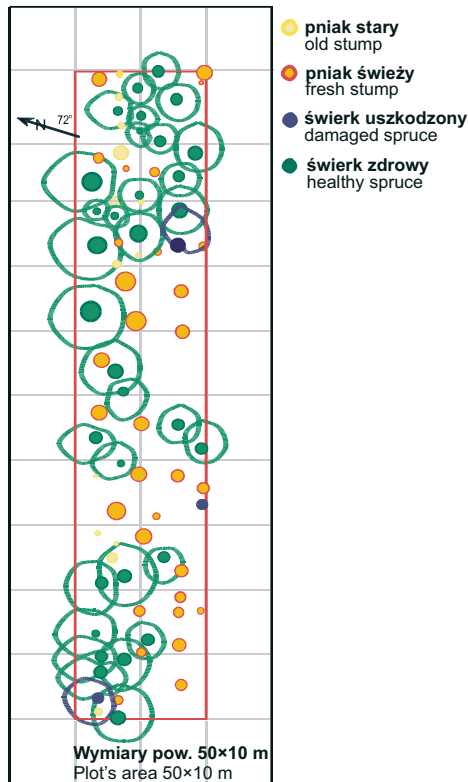


Ryc. 2. Rozmieszczenie drzew i pniaków na powierzchni badawczej Damnica_2
Fig. 2. Distribution of trees and stumps in 'Damnica_2' research plot

3.1.2. Nadleśnictwo Kolbudy

Na południe od powierzchni badawczej znajduje się luka po zniszczonym drzewostanie. Podmuch wiatru wszedł do drzewostanu z kierunku południowo-zachodniego od strony sąsiedniego zniszczonego drzewostanu (w miejscu którego znajduje się obecnie ogrodzona uprawa). Na powierzchni zostało złamane, wyrwrote lub uszkodzone 100 drzew na hektarze, co na tym etapie rozwoju drzewostanu oznacza dość istotną szkodę. Aktualny stan badanej powierzchni przedstawia tabela 2.

Jak widać z zestawienia, drzewa pozostałe przy życiu (ucierpiał wyłącznie świerk) charakteryzują się stosunkowo korzystnymi parametrami biometrycznymi. Mogło to zadecydować o tym, że zniszczenia nie objęły całego drzewostanu.



Ryc. 3. Rozmieszczenie drzew i pniaków na powierzchni badawczej Damnica_3
 Fig. 3. Distribution of trees and stumps in 'Damnica_3' research plot

Tabela 2. Wyniki pomiarów na powierzchni w Nadleśnictwie Kolbudy
 Table 2. Results of measurements in research plot in Kolbudy Forest District

Gatunek Species	Drzewostan żywy Live stand							Uszkodzenia Damages	
	N/ha	G (m ² /ha)	H (m)	D (cm)	H/d	Lk (%)	S (m ²)	złomy broken trees (N/ha)	wywroty uprooted trees (N/ha)
Świerk Spruce	292	29,969	27,1	35,0	80,7	54,8	16,9	50	50
Sosna Pine	67	5,063	27,7	30,9	90,0	31,9	8,8	–	–
Razem Total	359	35,032	18,0	21,3	82,4	50,5	15,4	50	50

Oznaczenia jak w tabeli 1
 Designations as in Table 1

3.1.3. Nadleśnictwo Kartuzy

Obie powierzchnie położone są na podłużnych wzniesieniach, których grzbiet jest pochylony w kierunku południowym (spadek około 10%). Między nimi znajduje się podłużne zagłębienie tworzące rynnę o większym spadku (teren tego kompleksu jest pagórkowaty). W odległości kilkuset metrów na zachód jest ściana lasu przylegająca do dużej otwartej przestrzeni. Silny wiatr, który wystąpił w styczniu 2002 r., „wszedł” do drzewostanu od strony otwartej przestrzeni i następnie skierował się w kierunku południowym po stoku, kumulując się głównie w rynnach między pagórkami. W wyniku tego zdarzenia drzewostan został w tych miejscach uszkodzony lub całkowicie zniszczony. Mniejsze szkody lub ich brak występują na wywyższeniach terenu, na których zlokalizowano powierzchnie badawcze.

Obie powierzchnie (tab. 3), mimo różnego wieku zbliżone są pod względem liczby drzew i pierśnicowego pola przekroju. Występują na nich wyraźne różnice pod względem średniej wysokości oraz średniej powierzchni rzutu korony. Drzewa na powierzchni 2 odznaczają się bardzo niską smukłością i wysoką wartością względną długości korony. Różnice pod względem cech biometrycznych przekładają się na rozmiar uszkodzenia przez wiatr. Powierzchnia 1 (liczne złomy i wywroty) została znacznie silniej uszkodzona w porównaniu z powierzchnią 2 (nieliczne złomy). Pewne znaczenie może mieć w tym wypadku różnica wieku – na powierzchni 2 drzewostan nie wkroczył jeszcze w fazę silnego zagrożenia i z racji korzystniejszych parametrów pnia i korony skuteczniej oparł się atakowi wiatru.

Tabela 3. Wyniki pomiarów na powierzchniach w Nadleśnictwie Kartuzy

Table 3. Results of measurements in research plots in Kartuzy Forest District

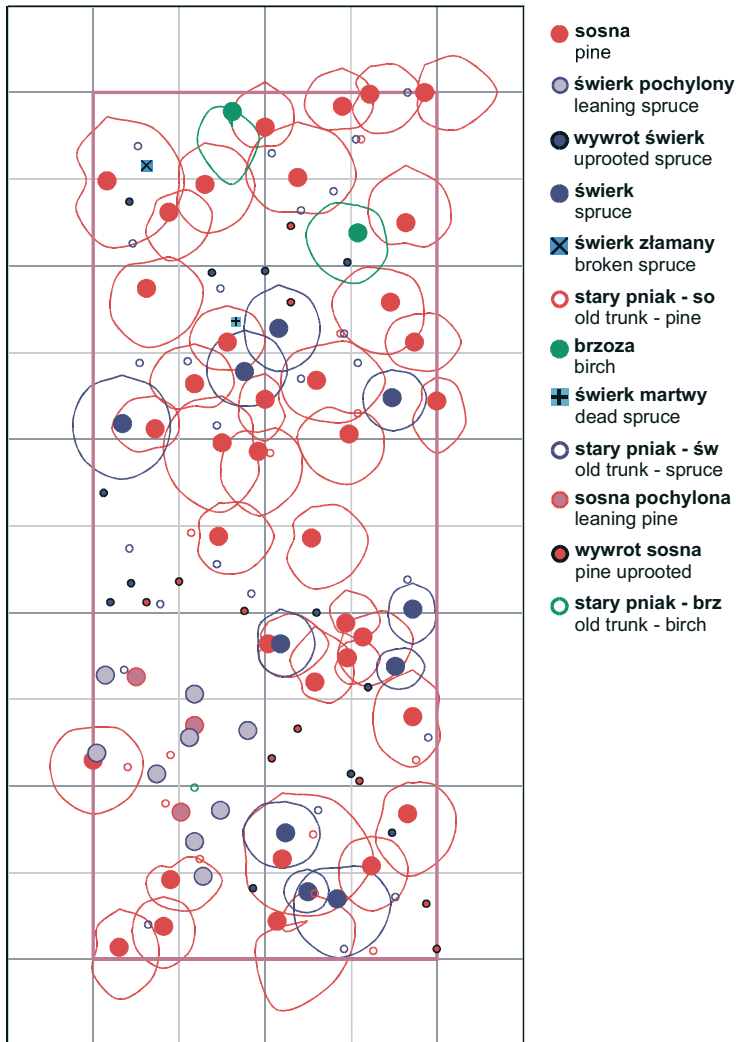
Powierzchnia badawcza Research plot	Drzewostan żywy Live stand							Uszkodzenia Damages	
	N/ha	G (m ² /ha)	H (m)	D (cm)	H/d	Lk (%)	S (m ²)	złomy broken trees (N/ha)	wywroty uprooted trees (N/ha)
Kartuzy_1	1000	29,878	18,5	18,8	98,1	55,9	7,6	183	83
Kartuzy_2	1200	29,814	11,8	16,8	70,3	74,6	10,3	50	–

Oznaczenia jak w tabeli 1

Designations as in Table 1

3.1.4. Nadleśnictwo Nidzica

Powierzchnie Nidzica_1 i Nidzica_2 zostały wybrane w starszych drzewostanach sosnowych z domieszką świerka i pojedynczo występującej brzozy, uszkodzonych przez wiatr w marcu 2004 r. Wiatr wdarł się do drzewostanu od strony zachodniej. Powierzchnia 1 (ryc. 4) obejmuje kilkuarową lukę położoną z samego brzegu drzewostanu. Jak widać z ryciny, atak wiatru zatrzymał się w miejscach, gdzie istniały zgrupowania grubszych sosen. W wyniku ataku zniszczeniu uległa większość świerków oraz około 1/3 sosen, wśród których przeważały wywroty (tab. 4).



Ryc. 4. Rozmieszczenie drzew i pniaków na powierzchni badawczej Nidzica_1

Fig. 4. Distribution of trees and stumps in 'Nidzica_1' research plot

Na powierzchni 2 skraj drzewostanu obsadzony był szpalerem nisko ugałęzionych świerków, które w większości przetrwały atak wichury. Poczyniła ona natomiast spustoszenia w dalszej części drzewostanu, około 100 metrów w jego głąb, co stanowi efekt podobny jak na powierzchni Damnica_3. Struktura zniszczeń (tab. 5) jest podobna jak na powierzchni 1 (przewaga wywrotów) z tą różnicą, że większy jest tu udział zniszczonych sosen, przekraczający 1/3 ogólnej liczby drzew tego gatunku.

Odmiennej charakter ma powierzchnia 3 znajdująca się w dużo młodszym drzewostanie. W drzewostanie znajdowała się znacznie liczniejsza domieszka brzozy, która wskutek wichury również w około 30% uległa zniszczeniu, głównie

Tabela 4. Wyniki pomiarów na powierzchni Nidzica_1
Table 4. Results of measurements in 'Nidzica_1' research plot

Gatunek Species	Drzewostan żywy Live stand							Uszkodzenia Damages	
	N/ha	G (m ² /ha)	H (m)	D (cm)	H/d	Lk (%)	S (m ²)	złomy broken trees (N/ha)	wywroty uprooted trees (N/ha)
Brzoza Birch	20	0,569	23,0	18,8	122,0	58,6	12,2	–	–
Sosna Pine	370	26,193	26,3	29,5	89,2	32,7	14,8	30	100
Świerk Spruce	100	2,084	12,2	15,6	78,2	63,3	12,2	100	120
Razem Total	490	28,846	25,2	26,2	96,1	34,2	14,6	130	220

Oznaczenia jak w tabeli 1
Designations as in Table 1

Tabela 5. Wyniki pomiarów na powierzchni Nidzica_2
Table 5. Results of measurements in 'Nidzica_2' research plot

Gatunek Species	Drzewostan żywy Live stand							Uszkodzenia Damages	
	N/ha	G (m ² /ha)	H (m)	D (cm)	H/d	Lk (%)	S (m ²)	złomy broken trees (N/ha)	wywroty uprooted trees (N/ha)
Brzoza Birch	8	0,206	21,1	18,1	117,0	35,8	13,2	–	–
Sosna Pine	236	22,350	28,5	33,8	84,2	31,7	18,0	28	96
Świerk Spruce	92	2,761	13,6	18,3	74,4	63,6	14,5	64	60
Razem Total	336	25,317	26,8	29,3	91,6	33,4	17,6	92	156

Oznaczenia jak w tabeli 1
Designations as in Table 1

Tabela 6. Wyniki pomiarów na powierzchni Nidzica_3
Table 6. Results of measurements in 'Nidzica_3' research plot

Gatunek Species	Drzewostan żywy Live stand							Uszkodzenia Damages	
	N/ha	G (m ² /ha)	H (m)	D (cm)	H/d	Lk (%)	S (m ²)	złomy broken trees (N/ha)	wywroty uprooted trees (N/ha)
Brzoza Birch	108	2,466	18,1	16,0	113,0	46,0	12,4	8	50
Sosna Pine	392	16,232	19,7	21,3	92,6	34,5	11,4	108	92
Świerk Spruce	67	0,955	10,5	13,1	80,6	59,7	8,2	58	17
Razem Total	567	19,653	19,1	19,3	98,6	36,5	11,4	174	159

Oznaczenia jak w tabeli 1
Designations as in Table 1

w postaci wywrotów (tab. 6). Uszkodzona została większość świerków i około 1/3 sosen, przy czym w wypadku tych gatunków przeważały złamania.

Wyniki wskazują na to, że pas młodszego drzewostanu z domieszką brzozy, o tej porze roku (przedwiośnie) znajdującej się w stanie bezlistnym, spełnił rolę „tunelu”, przez który wiatr wdarł się do wnętrza lasu. Sosna i świerk ulegały wywaleniu lub złamaniu, mimo stosunkowo niskiej smukłości.

3.2. Wyniki analizy rozmieszczenia drzew

3.2.1. Wprowadzenie

Wyniki analizy typu rozmieszczenia drzew na wszystkich powierzchniach doświadczalnych uzyskane metodą $K(t)$ Ripleya [w modyfikacji $L(t)$], przedstawiają ryciny 5 i 6, przy czym rycina 5 przedstawia rozmieszczenie drzew przed uszkodzeniem drzewostanów przez wiatr, a rycina 6 – po uszkodzeniu.

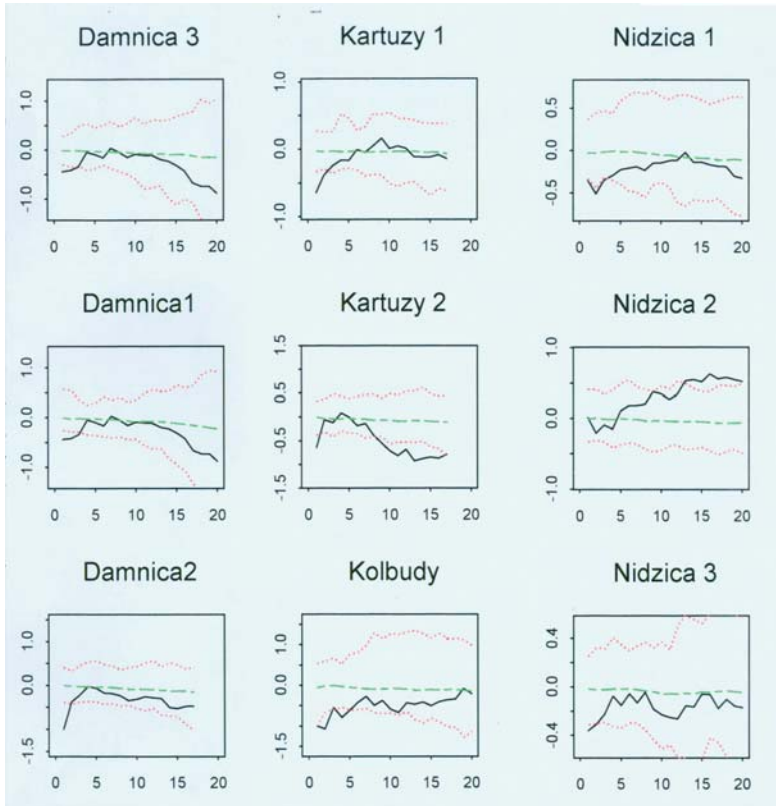
Liczby odczytane na wykresach z osi odciętych X oznaczają odległości, dla których linia reprezentująca wartości funkcji $L(t)$ (odłożone na osi Y , rzędnych) przecina jedną z linii obrazujących statystyczne „granice”, czyli poziomy ufności dla losowego typu rozmieszczenia. Dla uproszczenia interpretacji wyników analizy liczby wyrażające odległości najczęściej zaokrąglano do 1,0 m. Wykresy pozwalają na określenie skali wzorca rozmieszczenia obiektów, ponieważ przyporządkowują konkretny wzorec rozmieszczenia drzew do określonej skali czy też odległości pomiędzy drzewami (wyrażonej w metrach).

3.2.2. Rozmieszczenie drzew przed uszkodzeniem drzewostanu przez wiatr

Zbadano typ rozmieszczenia drzew żywych i nieuszkodzonych, drzew uszkodzonych przez wiatr, wykrotów oraz pni. Wykresy na rycinie 5 przedstawiają wyniki analizy dla 9 powierzchni doświadczalnych. Ponieważ zwyczajowo przy zastosowaniu wskaźnikowej korekty efektu brzegowego dla powierzchni prostokątnych zakres analizowanych skal nie powinien przekraczać wartości odpowiadającej połowie krótszego boku analizowanej powierzchni, analizę przedstawionych wykresów (także w pkt. 3.2.3.) ograniczono do właściwych skal.

Na trzech powierzchniach w Nadleśnictwie Damnica drzewa przed uszkodzeniem drzewostanu rozmieszczone były na powierzchni losowo – w prawie całej skali. Jedynie w skali ok. 2–3 m rozmieszczenie drzew było istotnie równomierne, co wydaje się zrozumiałe z uwagi na stosunkowo młody wiek badanych drzewostanów i istniejącego wpływu więzby sadzenia na rozmieszczenie drzew. W starszym, 80-letnim drzewostanie w Nadleśnictwie Kolbudy drzewa rozmieszczone były również losowo (dominujący typ rozmieszczenia), ale w mniejszej skali – do 5 m, stwierdzono rozmieszczenie równomierne, co jest zapewne efektem prowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych.

Rozmieszczenie drzew w Nadleśnictwie Kartuzy było podobne jak w Nadleśnictwie Damnica, szczególnie w drzewostanie świerkowym na powierzchni 1,



Ryc. 5. Rozmieszczenie drzew w drzewostanie przed uszkodzeniem go przez wiatr. Wyniki analizy dla 9 powierzchni doświadczalnych

Fig. 5. Distribution of trees in stand before wind damages occurrence. Analysis results for 9 research plots

Oznaczenia: Designations:

- wartość $L(t)$ dla danych empirycznych
 $L(t)$ for empirical data
- - - - - wartość $L(t)$ dla danych reprezentujących rozkład losowy (Poissona)
 $L(t)$ for Poisson's random distribution data
- górna i dolna granica poziomu istotności (90%) dla rozkładu losowego
maximum and minimum range of significance level (90%) for random distribution

Oś Y wartość $L(t)$

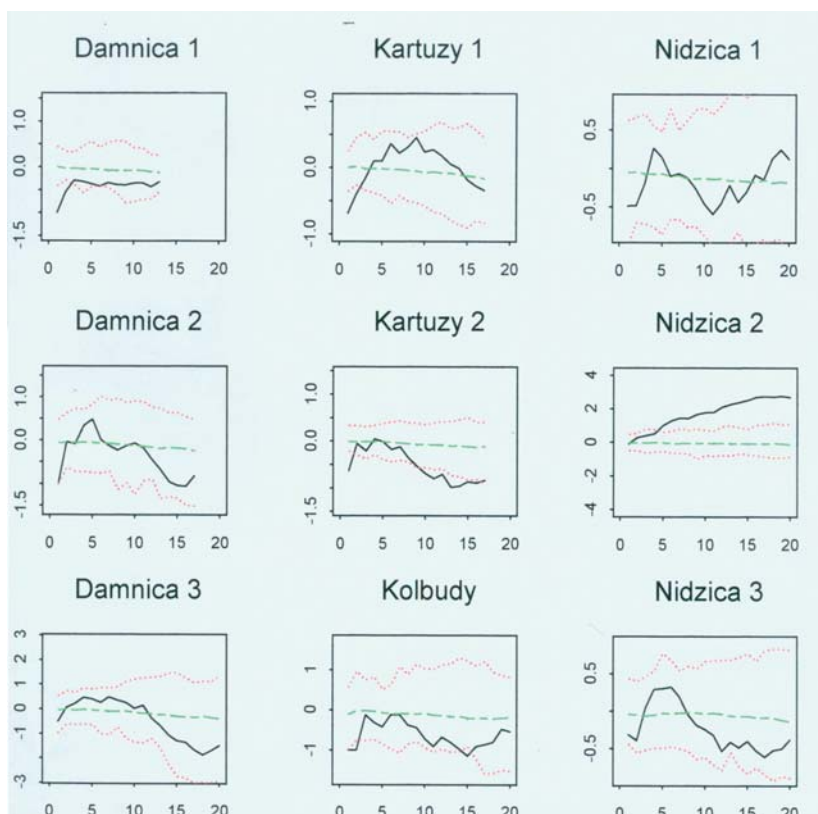
Axis Y $L(t)$ value

Oś X odległość [m]

Axis X distance [m]

który był w zbliżonym wieku do badanych drzewostanów z Nadl. Damnica. Na powierzchni 2, na której drzewostan świerkowy był młodszy (22 lata) równomierny wzorec rozmieszczenia stwierdzono w skali do 2 m oraz w skali powyżej 9 m, co należy tłumaczyć silnym wpływem więzby sadzenia na rozmieszczenie drzew.

Rozmieszczenie drzew, przeważnie sosen, na powierzchni doświadczalnej Nidzica_1 było losowe niemal w całym zakresie skal (poza skalą 2–3 m, na którym



Ryc. 6. Rozmieszczenie drzew w drzewostanie po uszkodzeniu go przez wiatr. Wyniki analizy dla 9 powierzchni doświadczalnych

Fig. 6. Distribution of trees in stand after wind damages occurrence. Analysis results for 9 research plots

Oznaczenia jak na ryc. 5

Designations as in the fig. 5

drzewa rozmieszczone były równomiernie). W bardziej zróżnicowanym wiekowo i gatunkowo drzewostanie na powierzchni Nidzica_2, drzewa w mniejszej skali rozmieszczone były losowo, ale z rosnącą tendencją do skupiskowości w rozmieszczeniu (w przedziale do 10 m, czyli połowy długości krótszego boku powierzchni, wzorec skupiskowy był istotny statystycznie w skali 9 m).

Znacznie młodszy, 36-letni drzewostan sosnowy na powierzchni Nidzica_3 przed uszkodzeniem go przez wiatr, cechował losowy typ rozmieszczenia drzew.

3.2.3. Rozmieszczenie drzew w drzewostanie po uszkodzeniu go przez wiatr

Zbadano typ rozmieszczenia wszystkich żywych i nieuszkodzonych drzew w drzewostanie. Wykresy na rycinie 6 przedstawiają wyniki analizy dla 9 powierzchni doświadczalnych. Analizując aktualne rozmieszczenie drzew na powierz-

chniach w Nadleśnictwie Damnica można wnioskować, że wiatr nie wpłynął istotnie na dominujący typ wzorca rozmieszczenia drzew na żadnej z nich. Na powierzchni nr 1, gdzie uszkodzenia przez wiatr były najmniejsze, wzorec rozmieszczenia drzew zmienił się w małej skali na nieco bardziej równomierny (nawet do 7 m, w porównaniu do 3 m przed uszkodzeniem). Wiatr spełnił rolę „losowych cięć” na powierzchniach Damnica_2 i 3, zmieniając wzorec rozmieszczenia drzew w skali najmniejszej z równomiernego na losowy. Jednocześnie pojawiła się tendencja do skupiskowości w rozmieszczeniu drzew w skali ok. 5 m na powierzchni Damnica_2 oraz w skali 4–7 m na powierzchni Damnica_3.

Na powierzchni Kolbudy drzewa pozostałe po uszkodzeniu (ucierpiał wyłącznie świerk) rozmieszczone są statystycznie rzecz biorąc w podobny sposób jak w drzewostanie przed uszkodzeniem – równomierny w najmniejszej skali i losowy. Daje się jednak zauważyć wyraźniejsza (niż przed wiatrołomem) tendencja do równomierności rozmieszczenia drzew w skali 12–15 m, aczkolwiek istotna statystycznie jedynie dla odległości 15 m. Pozostałe na powierzchni drzewa mają stosunkowo korzystne parametry biometryczne (duża pierśnica, niski wskaźnik smukłości).

Na powierzchni Kartuzy_1 struktura przestrzenna drzewostanu po uszkodzeniu przez wiatr nie uległa istotnym zmianom, chociaż daje się zauważyć nieistotna statystycznie tendencja do skupiskowości w rozmieszczeniu pozostałych po wiatrołomie drzew w skali 6–9 m. Drzewostan na powierzchni Kartuzy_2, uszkodzony w niewielkim stopniu, nie zmienił się pod względem wzorca rozmieszczenia drzew w odniesieniu do stanu sprzed uszkodzenia.

Drzewostan na powierzchni Nidzica_1, uszkodzony bardzo silnie przez wiatr, zachował dominujący losowy wzorec rozmieszczenia, „tracąc” jednocześnie równomierność w rozmieszczeniu drzew w małej skali. Natomiast na powierzchni Nidzica_2 uderzenie wiatru, które uszkodziło określoną partię drzewostanu, spowodowało, że w drzewostanie utrwalił się skupiskowy wzorec rozmieszczenia drzew, już w skali od ok. 4 m (w mniejszej – losowy). Dość duże uszkodzenia w drzewostanie na powierzchni Nidzica_3 spowodowały, że w niewielkiej skali (3–6 m) zaczęły kształtować się grupy drzew (ocalałych po wiatrołomie). Jednak wyniki analizy statystycznej wskazują, że, pomimo tych tendencji, wzorec rozmieszczenia drzew w drzewostanie jest losowy, podobnie jak przed uszkodzeniem przez wiatr.

4. DYSKUSJA WYNIKÓW

4.1. Interpretacja analiz przestrzennych

Wzorec rozmieszczenia drzew w badanych drzewostanach, na ogół jednogatunkowych lub z przewagą gatunku iglastego (sosny, świerka), w średnim wieku od 22 do 80 lat jest w przeważającym zakresie badanych skal losowy. Rów-

nomierny wzorec rozmieszczenia występuje przede wszystkim w skalach najmniejszych, sporadycznie w większych (Kartuzy_2). Tendencja do kształtowania skupiskowego wzorca rozmieszczenia wystąpiła jedynie na powierzchni Nidzica_2, która wykazywała cechy lukowatości. W skali ok. 9 m wzorec skupiskowy był istotny statystycznie. W odniesieniu do tego typu drzewostanów wyniki analizy są zgodne z doniesieniami innych autorów. Do podobnych wniosków doszli np. Kent i Dress (1980) modelując zmiany wzorca rozmieszczenia drzew w jednowiekowym drzewostanie. Początkowy równomierny wzorec rozmieszczenia drzew w 21-letnim drzewostanie modelowym ulegał zmianie na losowy w ciągu kolejnych 20 lat życia, przy czym nie analizowano tutaj wpływu cięć pielęgnacyjnych, które przyspieszają zmiany wzorca rozmieszczenia drzew. Cooper (1961) badał rozmieszczenie drzew w czternastu drzewostanach *Pinus ponderosa* w wieku od 26 do 80 lat. W młodszych drzewostanach stwierdził on dominację losowego typu rozmieszczenia sosen. W starszych wystąpiła tendencja do równomierności w rozmieszczeniu (ale istotna statystycznie tylko w jednym przypadku). Podobna sytuacja wystąpiła w starszych drzewostanach na powierzchniach Kolbudy i Nidzica_3. Szwagrzyk (1992) badał rozmieszczenie drzew w mieszanych zagospodarowanych drzewostanach sosnowo-bukowych w wieku 60–90 lat przy zastosowaniu metody bazującej na funkcji $K(t)$ Ripleya. Sosna pochodziła z sadzenia, natomiast pochodzenie buka było nieznanne. Przeważającym typem rozmieszczenia był wzorec losowy, niezależnie od rozmiaru drzew.

Na równomierność rozmieszczenia w niewielkich skalach wpływa, szczególnie w młodszym wieku w drzewostanach sztucznego pochodzenia, więźba sadzenia (Gil 2004). W badaniach Payandeha (1974) analizowano wzorec rozmieszczenia wszystkich drzew w 40-letnim drzewostanie *Pinus resinosa* powstałym z sadzenia. Dominującym okazał się typ równomierny (w analizie wykorzystano wskaźnik Pielou). Brak jednak dokładniejszych danych co do początkowego zagęszczenia drzew w drzewostanie oraz co do ewentualnych zabiegów hodowlanych w nim prowadzonych – w drzewostanach gospodarczych, będących obiektami badań w niniejszym temacie, na zmiany wzorca rozmieszczenia z równomiernego na losowy miały wpływ cięcia pielęgnacyjne. Dobrym przykładem może być tutaj powierzchnia Kartuzy_2 z najmłodszym drzewostanem z wybranych do badań, na których stosowanie cięć „rozluźnia” zagęszczenie drzew już w wieku 22 lat, zmieniając wzorec rozmieszczenia z początkowego równomiernego na losowy – w kilkumetrowej skali (2–9 m).

Podobne wyniki otrzymali Kuuluvainen i in. (1996) w znacznie starszych drzewostanach, analizując strukturę przestrzenną drzewostanów świerkowych zagospodarowanych (w wieku 105 lat) w południowej Finlandii. Drzewa o wysokości powyżej 15 m rozmieszczone były losowo, przy czym w skali do 4 m stwierdzono równomierność w występowaniu drzew. Jako przyczynę takiego stanu rzeczy (dominującego losowego wzorca rozmieszczenia drzew) autorzy podają wpływ cięć pielęgnacyjnych.

Dominujący typ rozmieszczenia po wiatrolomach nie uległ istotnym zmianom w badanych drzewostanach. Jedynie na powierzchni Nidzica_2 stwierdzono istotne

statystycznie wystąpienie skupiskowego wzorca rozmieszczenia drzew w skali powyżej 4 m. Na niektórych powierzchniach (Damnica_2 i 3, Kartuzy_1, Nidzica_1 i 3) w wyniku wiatrołomu wystąpiły w drzewostanach tendencje do skupiskowego rozmieszczenia drzew w skali kilkumetrowej, co jest efektem powstania luk w drzewostanie. Być może wyraźniejsze różnice występowały w przypadku rozmieszczenia drzew reprezentujących różne klasy grubości lub wysokości. Nie było to jednak przedmiotem wykonywanych analiz.

Skupiskowość rozmieszczenia drzew jest najczęściej stwierdzana w drzewostanach jednogatunkowych naturalnego pochodzenia w młodszych klasach wieku (Payandeh 1974, Daniels 1978, Moeur 1997) oraz jako wzorzec rozmieszczenia drzew wydzielających się naturalnie z drzewostanu (Kenkel 1988). Wiatr jako czynnik naturalny może również w pewnych warunkach wpływać na wzorzec rozmieszczenia drzew w drzewostanach zagospodarowanych.

4.2. Hodowlany aspekt uzyskanych wyników

Wyniki uzyskane na jednorazowych powierzchniach doświadczalnych obrazują dużą złożoność problemu kształtowania odporności drzewostanów na uszkodzenia od wiatru. Jeśli chodzi o stabilność indywidualną, rezultaty badań na powierzchniach w nadleśnictwach Kolbudy i Kartuzy wskazują na istotne znaczenie takich cech jak smukłość i względna długość korony dla stabilności względem wiatru (Abetz 1976, Savill 1983, Peltola, Kellomäki 1993).

Z drugiej strony, porównanie wyników otrzymanych na słabo i silnie uszkodzonych powierzchniach doświadczalnych w nadleśnictwie Damnica potwierdza tezę, iż w kwestii zapobiegania szkodom od wiatru stabilność zespołowa ma, zwłaszcza w wypadku drzewostanów świerkowych od III klasy wieku wzwyż, nie mniejsze znaczenie niż stabilność indywidualna (Słodičak 1995, Valinger, Fridman 1997). Powierzchnia słabo uszkodzona charakteryzowała się znacznie wyższą liczbą drzew na hektarze i wyższą smukłością w porównaniu do powierzchni silnie uszkodzonych. W odniesieniu do świerka notowano przypadki, w których drzewostan gęstszy ucierpiał od wiatru mniej niż znajdujący się obok drzewostan rzadszy (Fleder 1990). Wzrost nasilenia szkód w miarę obniżania zadrzewienia stwierdzano również w odniesieniu do drzewostanów sosnowych (Kohlstock, Lockow 1981). Stabilność zespołowa to nie tylko zachowanie zwarcia, lecz także obecność silnych, stabilizujących otoczenie, grup drzew (Zajączkowski 1994, Otto 1994, Bastien, Otto 1998). Na znaczenie takich zgrupowań wskazują analizy przestrzenne, z widoczną tendencją do tworzenia struktury skupiskowej w drzewostanach uszkodzonych przez wiatr (Kartuzy_1, Nidzica_2).

Jeśli chodzi o typ uszkodzeń, porównanie danych z powierzchni w Darnicy i Kolbudach może wskazywać na rolę współczynnika smukłości w strukturze szkód. Wraz z rozluźnieniem drzewostanu i spadkiem smukłości drzew maleje udział złomów, a wzrasta udział wywrotów (Gardiner i in. 1997). Wzrost stabilności wynikający z niższej smukłości drzewa traci częściowo na znaczeniu z powodu wzrastającej prędkości wiatru w luźnym drzewostanie (Brüchert, Becker 2000).

Wyniki uzyskane na powierzchniach *Damnica_3* i *Nidzica_2* są dobrą ilustracją tezy o dwuznaczej roli leśnego okrajka złożonego z nisko ugałęzionych drzew (Savill 1983, Zajęzkowski 1991). Na obu wymienionych powierzchniach zewnętrzny szereg silnych drzew zasadniczo oparł się atakowi wiatru, natomiast największe zniszczenia miały miejsce bezpośrednio za nim. W świetle powyższego wydaje się słuszny postulat podkrzesywania drzew wchodzących w skład leśnego okrajka, w celu umożliwienia przenikania wiatru poniżej pułapu koron i zmniejszenia tą drogą efektu turbulencji (Mitscherlich 1973). Alternatywą dla takiego rozwiązania może być postulat Szymańskiego (1986) tworzenia tzw. opaski przeciwwietrznej, złożonej z krzewów i niskich drzew, umożliwiający łagodne wznoszenie się wiatru, bez efektu turbulencyjnego.

Odporność drzewostanu iglastego na wiatr często podnosi się poprzez zastosowanie domieszki liściastej. Analiza przypadku z powierzchni *Nidzica_3* wskazuje, iż domieszka gatunków liściastych (w tym wypadku brzozy) nie zawsze prowadzi do podniesienia odporności drzewostanu na wiatr. Pamiętać należy jednak, że brzoza uważana jest za stosunkowo odporną tylko przez tych autorów, którzy porównują ją ze świerkiem i sosną (Peltola i in. 2000). Ponadto, wąski pas drzewostanu z dużym udziałem brzozy mógł spełnić w tej sytuacji rolę korytarza, wpuszczającego wiatr do wnętrza lasu (Savill 1983). Przykłady korzystnej roli domieszek dotyczą najczęściej drzewostanów z udziałem buka (v. Lüpke, Kuhr 2001) który działa pozytywnie, stymulując lepsze ukorzenie świerka.

W świetle powyższych uwag należy przestrzegać zasady słabych trzebieży w sośnie starszych klas wieku. W odniesieniu do świerka natomiast, w świetle zanotowanych przykładów silnych szkód od wiatru po przeprowadzonej trzebieży późnej, wydaje się właściwe, przynajmniej w strefach średniego i wysokiego zagrożenia, stosowanie modelu pielęgnacji z silnymi cięciami w młodości i „ciszą pielęgnacyjną” w ostatniej fazie przed wyrębem (Nielsen 1995).

5. WNIOSKI

1. Zagrożenie szkodami od wiatru jest jednym z podstawowych czynników decydujących o warunkach gospodarowania w lasach Polski. Całkowite wyeliminowanie tych szkód nie jest możliwe, jednak realnym celem jest istotne ograniczenie ich rozmiaru poprzez działania profilaktyczne.

2. Istotnym czynnikiem decydującym o odporności na wiatr jest stabilność zespołowa i ład przestrzenny. W gospodarstwach zrębowych należy przestrzegać właściwego układu ostępów, łagodzącego przepływ wiatru.

3. W nizinnych drzewostanach sosnowych i świerkowych średnich i starszych klas wieku przeważa losowy wzorec rozmieszczenia drzew. Jedynie w najmniejszych skalach w drzewostanach sztucznego pochodzenia zachowuje się

wzorzec równomierny, tym wyraźniejszy, im młodszy jest rozpatrywany drzewostan.

4. Działanie wiatru spełnia rolę „losowych cięć” w drzewostanie, powodując zmianę wzorca rozmieszczenia drzew z równomiernego na losowy oraz z losowego w kierunku skupiskowego, szczególnie w skali kilkumetrowej, odpowiadającej wielkościom niewielkich luk w drzewostanie.

5. Analizy zmian wzorców rozmieszczenia wskazują na znaczenie zachowanych grup silnych drzew o wysokich pierśnicach w ograniczaniu szkód od wiatru. Przy prowadzeniu trzebieży, zwłaszcza w strefach średniego i wysokiego zagrożenia, należy unikać zbyt silnych cięć, rozrzedzających takie grupy.

6. Ściana lasu powinna pełnić rolę stabilizacyjną, nie powodując równocześnie wzrostu turbulencji powietrza. W wypadku koron sięgających do ziemi można stosować podkrzesywanie najniższych gałęzi. Na granicy polno-leśnej celowe jest zakładanie opaski przeciwwietrznej.

7. W drzewostanach świerkowych, szczególnie w strefach wysokiego zagrożenia, w okresie przedrębnym należy w miarę możliwości przestrzegać „ciszy pielęgnacyjnej”

Praca została złożona 21.04.2006 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 20.06.2006 r.

ANALYSIS OF WIND DAMAGES IN SPRUCE AND PINE STANDS

Summary

The aim of the study was to analyse a particular cases of local damages from wind that had place in the State Forests Holding during the last 5 years, joint with evaluation of possible prevention or limitation of those damages through silvicultural measures.

The research plots were established in stands where in 2002–2004 wind damages were noticed, in Damnica (3 plots), Kolbudy (1 plot), Kartuzy (2 plots) and Nidzica (3 plots) Forest Districts.

On the plots, basic biometric features of all standing trees were measured, and all broken and uprooted trees were listed. The results are presented in Tables 1–6, and Figures 1–4. Moreover, stand spatial analyses were carried out with consideration of live and damaged trees. The $K(t)$ Ripley method [in $L(t)$ modification] of pattern determination of specimen distribution on the plots was applied. Figure 5 and 6 depict distribution of trees before and after the wind damages occurrence, respectively.

The results show high complexity of issues regarding shaping the stand resistance to wind damages, and when it comes to individual stability, study results on research plots in Kolbudy and Kartuzy Forest Districts indicate significant importance such features as slenderness and relative crown length in shaping of wind resistance.

According to spatial analyses, in spruce and pine stands, in middle and old age classes, random model of distribution prevails. In some plots (Kartuzy_1, Nidzica_2, Nidzica_3), it shows tendency to change into cluster pattern due to damages. It confirms thesis that remaining of strong trees groups in shaping wind resistance has decisive importance.

The studies proved importance of forest edge structure for minimization of damages. Low slenderness and strong tappareness of trees growing at the edge of the stand conducive to above mentioned aim. However, those trees shall not be branched too low because it causes escalation of turbulent air movements causing damages directly after the forest edge (Fig. 3).

Comparison of results derived from small and heavy damaged research plots confirms thesis that taking into consideration wind damages prevention, individual stability has lower importance than group stability, especially in spruce stands, in III and higher age classes. The plot damaged less, was characterised with much higher number trees per hectare and greater slenderness when to compare with plots damaged heavier (Tab. 1). Along with stand's loosen and trees slenderness decrease, the broken trees share decreases and uprooted ones increases. Stability increase results from lower trees slenderness loses partly the importance due to increase of wind speed in loosen stand.

The analysis of situation in plot 'Nidzica_3' reveal that admixture of broadleaved tree species (in that case birch) does not always lead to improve of stand resistance to wind. The narrow strip of the stand with high share of birch might be in this situation a corridor letting wind inside the forest.

Achieved results show that in pine stand in older age classes the light thinning rule shall be applied. When it comes to spruce, it seems to be proper, to apply strong cutting in young stands and no treatments in the last phase before the final cut, especially in zones of medium and high danger. Maintenance of spatial order is in a great importance too, due to its limitation functions regarding wind entrance inside the forest.

(transl. M. T.)

LITERATURA

- Abetz P. 1976: Beitrage zum Baumwachstum. Der h/d-Wert – mehr als ein Schlankheitsgrad. Der Forst-u. Holz., 19: 389-393.
- Andersson S. O. 1980: Volume increment and stand safety in different types of thinning. Schr. For. Fak., 67: 260-268.
- Bastien Y., Otto H.J. 1998: La théorie des groupes: application aux éclaircies de futaie régulière. Rev. For. Fr., 3: 251-262.
- Bolibok L. 2001: Analiza prawidłowości przestrzennego rozmieszczenia drzew w drzewostanach naturalnych Białowieskiego Parku Narodowego. Praca doktorska, SGGW, Warszawa, 1-107.
- Bolibok L. 2003: Dynamika struktury przestrzennej drzewostanów naturalnych w oddziale 319 BPN – czy biogrupy drzew są powszechne i trwałe w nizinym lesie naturalnym? Sylwan, 1: 12-23.
- Brüchert F., Becker G. 2000: Biegemechanische Eigenschaften von Fichten [*Picea abies* (L.) Karst.] bei unterschiedlichen Wuchsbedingungen – Grundlagen zur Abschätzung der Stabilität von Bäumen gegenüber mechanischen Belastungen durch Sturm und Schnee. Forstarchiv, 71: 102-111.
- Brünning E. F., Heuveldop J., Schneider T. W. 1977: Produkcyjno-ekologiczne i hodowlane wnioski z katastrofy huraganowej w dniu 13 listopada 1972 roku. Sylwan, 4: 15-31.
- Cooper C. F. 1961: Pattern in ponderosa pine forest. Ecology, (42) 3: 493-499.
- Daniels R. F. 1978: Spatial patterns and distance distributions in young seeded loblolly pine stands. Forest Sci., (24) 2: 260-266.
- Fleder W. 1990: Zur Z-Baum-Diskussion. AFZ, 32: 828-830.
- Fries J. 1969: Der Einfluss extrem starker Durchforstung auf den Ertrag und die Bestandessicherheit von Nadelholzbeständen. AFZ, 39:760-761.
- Gardiner B. A., Stacey G. R., Belcher R. E., Wood C. J. 1997: Field and wind tunnel assessments of the implications of respacing and thinning for tree stability. Forestry, (70)3: 233-252.

- Gardiner B. A., Quine C. P. 2000: Management of forests to reduce the risk of abiotic damage – a review with particular reference to the effects of strong winds. *For. Ecol. Manage.*, 135: 261-277.
- Gil W. Mikułowski M. 2003: Wind-induced damage to Polish forests and the methods of mitigating its effect. [In:] *Wind Effects on Trees* (B. Ruck, C. Kottmeier, C. Mattheck, C. Quine, G. Wilhelm eds.). International Conference, 16–18 September 2003, University of Karlsruhe, Germany, 349-356.
- Gil W. 2004: Wpływ drobnoskalowego zróżnicowania podłoża glebowego i zagęszczenia drzew na drzewostanach sosnowych II klasy wieku na ich strukturę przestrzenną. Praca doktorska, Inst. Bad. Leś., Warszawa, 1-128.
- Huss J. 1983: Durchforstungen in Kiefernjungbeständen. *Forstwiss. Centralbl.*, 1: 1-17.
- Huss J. 1993: Waldbau von neuen Herausforderungen bei Waldverjüngung und Jungbestandspflege. *Forstwiss. Centralbl.*, 3: 278-286.
- Hütte P. 1968: Experiments on windflow and wind damage in Germany site and susceptibility of spruce forests to storm damage. *Forestry*, 41 (suppl.): 20-27.
- Jalkanen A., Mattila U. 2000: Logistic regression for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data. *For. Ecol. Manage.*, 135: 315-330.
- Johann K. 1981: Nicht schnee, sondern falsche Bestandesbehandlung verursacht Katastrophen. *Allg. Forstztg.*, 92 (5): 163-171.
- Kaluzny S. P., Vega S. C., Cardoso T. P., Shelly A. A. 1996: *S+Spatialstats. User's Manual. Version 1.0.* MathSoft, Inc. Seattle, Washington, 1-226.
- Karczmarski J. 1999: Kształtowanie się zależności pomiędzy budową i strukturą drzewostanów a wielkością przyrostu grubości, wybranymi cechami biomorfologicznymi oraz intensywnością procesu wydzielania się drzew w górnoreglowych borach świerkowych o charakterze pierwotnym w Karpatach zachodnich. Praca doktorska, AR Kraków, 1-170.
- Kenkel N. C. 1988: Pattern of self-thinning in jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology*, 69 (4): 1017-1024.
- Kent B. M., Dress P. E. 1980: On the convergence of forest stand spatial pattern over time: the case of regular and aggregated initial spatial pattern. *Forest Sci.*, 26: 10-22.
- Kohlstock N., Lockow K. W. 1981: Mathematisch-statistische Untersuchungen über die Sturmgefährdung rationell gepflegter Kiefernjungbestände – ein Beitrag zur Erhöhung die Bestandessicherheit. *Beitr. Forst.*, 1: 1-7.
- Konôpka J., Petráš R., Toma R. 1987: Štíhlostný koeficient hlavných drevín a jeho význam pri statickej stabilite porastov. *Lesnictvi*, 33 (10): 887-904.
- Kuuluvainen T., Penttinen A., Leinonen K., Nygren M. 1996: Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: an example from boreal spruce forest in southern Finland. *Silva Fenn.*, 30 (2–3): 315-328.
- Lüpke B. von, Kuhr M. 2001: Grosswurzelausbildung der Fichte [*Picea abies* (L.) Karst.] in Abhängigkeit von Alter, Bodenart, sozialer Stellung und Bestandesstruktur. *Forstarchiv*, 72: 55-62.
- Mayer H. 1992. *Waldbau auf soziologisch – ökologischer Grundlage.* 4 neu bearbeitete Auflage. Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York, 1-522.
- Mikułowski M. 2002: Problemy zagospodarowania lasu na terenie kłęski wiatrowej z lipca 2002 r. w północno-wschodniej Polsce. *Prace Inst. Bad. Leś., A*, 3: 129-133.
- Mitscherlich R. 1973: Wald und Wind. *Allg. Forst. – u. Jagdztg.*, 4: 76-81.
- Moer M. 1993: Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest Science*, 39: 756-775.
- Moer M. 1997: Spatial models of competition and gap dynamics in old-growth *Tsuga heterophylla* (*Tsuga plicata*) forest. *For. Ecol. a. Manage.*, 94: 175-186.
- Nielsen C. C. 1995: Recommendations for stabilization of Norway spruce stands based on ecological surveys. [In:] *Wind and trees* (M. P. Coutts, I. Grace eds.). Cambridge University Press: 424-435.
- Nykänen M. L., Peltola H., Quine C. P., Kellomäki S., Broadgate M. 1997: Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fenn.* 31, 2: 193-213.

- Otto H-J. 1994: Ökologische Waldbau. Walddynamische Prozesse bei Fichte und Kiefer in Rahmen waldbaulicher Rationalisierung. Der Wald T. 1, 44/11: 364-367, T. II, 44/12: 408-412.
- Payandeh B. 1974: Spatial pattern of trees in the major forest types of northern Ontario. Can. J. For. Res., 4: 8-14.
- Peltola H., Kellomäki S. 1993: A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scots pine at stand edge. Silva Fenn., 27, 2: 99-111.
- Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., Lemettinen M., Aho J. 1993: Swaying of trees as caused by wind: analysis of field measurements. Silva Fenn., 27, 2: 113-126.
- Peltola H., Nykänen M. L., Kellomäki S. 1997: Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of Scots pine, Norway spruce and Birch sp. at stand edge. For. Ecol. Manag., 95: 229-241.
- Peltola H., Kellomäki S., Väisänen H., Ikonen V. P. 1999: A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce and birch. Can. J. For. Res., 29: 647-661.
- Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., Granander M. 2000: Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. For. Ecol. Manag., 135: 143-153.
- Quine C. P. 1995: Assessing the risk of wind damage to forests. [In:] Wind and trees (M. P. Coutts, I. Grace eds.). Cambridge University Press, 397-403.
- Ripley B. D. 1977: Modelling spatial pattern (with discussion). J. R. Stat. Soc., B, 39: 172-212.
- Rouvinen S., Kuuluvainen T., Siitonen J. 2002: Tree Mortality in Pinus sylvestris Dominated Boreal Forest Landscape in Vienansalo Wilderness, Eastern Fennoscandia. Silva Fenn. 36 (1): 127-145.
- Savill P. S. 1983: Silviculture in windy climates. For. Abstr., 44, 8: 473-488.
- Slodičák M. 1995: Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage. [In:] Wind and trees (M. P. Coutts, I. Grace eds.). Cambridge University Press: 436-447.
- Stępień E. 1986: Zwiększanie stabilności drzewostanów przy pracach odnowieniowych. Sylwan, 1: 13-21.
- Szwagrzyk J., Ptak J. 1991: Analizy struktury przestrzennej populacji i zbiorowisk oparte na znajomości rozmieszczenia osobników. Wiadomości Ekologiczne, (37) 2: 107-124.
- Szwagrzyk J. 1992: Small-scale spatial patterns of trees in a mixed *Pinus sylvestris* - *Fagus sylvatica* forest. For. Ecol. Manag., 51: 301-315.
- Szymański S. 1986: Ekologiczne podstawy hodowli lasu. PWRiL, Warszawa, 1-462
- Talkkari A., Peltola H., Kellomäki S., Strindman H. 2000: Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins. For. Ecol. Manag., 135: 303-313.
- Valinger E., Fridman J. 1997: Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. For. Ecol. Manag., 97: 215-222.
- Wood C. J. 1995: Understanding wind forces on trees. [In:] Wind and trees (M. P. Coutts, I. Grace eds.). Cambridge University Press: 133-164.
- Zajączkowski J. 1990: Stabilisierende Gruppendurchforstung in Kiefernbeständen. Forstarchiv, 1: 39-40.
- Zajączkowski J. 1991: Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wyd. "Świat", Warszawa, 1-224.
- Zajączkowski J. 1994: Biogrupy drzew w drzewostanach – możliwości i celowość ich wykorzystania przy prowadzeniu trzebieży. Prace Inst. Bad. Leś., A, 778: 1-38.
- Zajączkowski J., Mikułowski M., Zachara T., Gil W., Kopryk W. 2004: Możliwości zwiększenia efektywności zabiegów hodowlanych w kształtowaniu odporności lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. IBL, Warszawa, 1-80.