

ARKADIUSZ TOMCZAK, TOMASZ JELONEK, WITOLD PAZDROWSKI

Charakterystyka wybranych cech morfologicznych drzew w dojrzałych drzewostanach sosnowych eksponowanych na działanie wiatru*

Characteristics of selected morphological traits of trees in mature Scots pine stands exposed to wind

ABSTRACT

Tomczak A., Jelonek T., Pazdrowski W. 2014. Charakterystyka wybranych cech morfologicznych drzew w dojrzałych drzewostanach sosnowych eksponowanych na działanie wiatru. Sylwan 158 (3): 183-191.

The paper presents variability in morphological traits of trees in mature Scots pine stands exposed to wind. The analysed parameters included breast height diameter, tree height and length, diameter, lateral area and crown base area. Except for the crown base area and crown diameter, values of the other traits increased with an increase in the distance from the edge of the stand. Crown diameter in trees with average exposure to wind was smaller than diameters of trees growing on the edge of the stand (strong exposure) and within the stand (weak exposure).

KEY WORDS

wind, tree stability, biometry, Scots pine

ADDRESSES

Arkadiusz Tomczak – e-mail: arkadiusz.tomczak@up.poznan.pl

Tomasz Jelonek – e-mail: tomasz.jelonek@up.poznan.pl

Witold Pazdrowski – e-mail: witold.pazdrowski@up.poznan.pl

Katedra Użytkowania Lasu; Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 71A; 60-625 Poznań

Wstęp

W praktyce leśnej cechy morfologiczne pni i koron są wskaźnikami dynamiki procesów rozwojowych drzew i drzewostanów [Lemke 1966, 1968]. Są jednym z podstawowych wskaźników monitoringu lasu [Jaszczak, Miotke 2009] oraz ważnymi kryteriami w ocenach ryzyka powstania szkód od wiatru [Peltola, Kellomäki 1993; Gardiner i in. 2008; Bruchwald, Dmyterko 2010, 2011].

Najpoważniejszą kategorią szkód od wiatru są wiatrołomy i wiatrowały. Są to efekty zjawisk ekstremalnych, nagłych i krótkotrwałych. Inną kategorię stanowią deformacje koron i strzał drzew oraz tkanki drzewnej, które są zazwyczaj rozłożoną w czasie reakcją o charakterze adaptacyjnym [Wade, Hewson 1979; Telewski 1995; Tomczak i in. 2012a]. Aklimatyzacja do lokalnie panujących warunków wietrznych wyraża się najczęściej ograniczeniem wzrostu drzew na wysokość i zwiększeniem dynamiki przyrostu na grubość w dolnej części pni, czyli wzrostem zbieżności [Ennos 1997]. Tworzą się ekscentryczne formy pni i koron, powstaje drewno reakcyjne [Duncker, Spiecker

* Pracę zrealizowano w ramach tematu „Wpływ obciążenia drzew przez wiatr na zróżnicowanie wybranych parametrów technicznych drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

2008; Tomczak i in. 2012b]. Skala zmian w morfologii (architekturze) drzewa i strukturze drewna zależy od siły wiatru oraz częstotliwości jego oddziaływania. Dlatego ewidentne przykłady wpływu wiatru na drzewa obserwować możemy w górach lub pasie nadmorskim.

Sosna zwyczajna jest gatunkiem względnie odpornym na wiatr [Puchalski, Prusinkiewicz 1975]. Charakteryzuje się znaczną zmiennością pod względem kształtu korony i wymagań ekologicznych. W drzewostanach sosny wykształcają na ogół proste i dobrze oczyszczone strzały. Smukłość drzew w drzewostanach sosnowych kształtuje się pod wpływem wieku, pierśnicy, wysokości i współczynnika zagęszczenia [Rymer-Dudzińska 1992a, b]. Podobną zależność można zaobserwować również w odniesieniu do długości korony, przy czym czynnikiem pierwszoplanowym jest w tym wypadku pozycja biosocjalna drzewa w drzewostanie [Żybuła 1977]. Związek ze stanowiskiem socjalnym drzew wykazują też inne cechy morfologiczne korony, takie jak szerokość, powierzchnia rzutu pionowego, powierzchnia zewnętrzna i objętość [Kaźmierczak 2009; Turski i in. 2012]. W obrębie jednego drzewostanu zróżnicowanie cech morfologicznych jest więc bardzo duże. Dodatkowo zróżnicowanie może się powiększać pod wpływem innych czynników. Wśród nich wiatr wydaje się być jednym z ważniejszych.

Celem pracy jest charakterystyka wybranych cech morfologicznych drzew w dojrzałych drzewostanach sosnowych eksponowanych na działanie wiatru.

Material i metody

Podstawowym kryterium selekcji drzewostanów było ich sąsiedztwo z wolną przestrzenią (łąka, pole). Powierzchnie próbne założono w drzewostanach, w których zachodni brzeg miał stosunkowo prosty przebieg, zbliżony do kierunku północ-południe. Warunek ten związany był z dominującym kierunkiem wiatru. W Polsce, jak i całej Europie Środkowej, widoczna jest przewaga wiatrów z kierunków bliskich zachodniemu [Zajączkowski 1991; Lorenc 2005]. Z tych kierunków należy spodziewać się również zdarzeń wiatrowych o zasięgu wielkoskalowym [Sobik, Błaś 2010].

W siedmiu nadleśnictwach RDLP w Szczecinku wybrano łącznie 9 drzewostanów V klasy wieku wyrosłych na borze mieszanym świeżym. Drzewostany te należały do I klasy bonitacji, a zwarcie określono jako przerywane. Przeciętna pierśnica w wybranych drzewostanach wahała się od 31 do 37 cm, natomiast przeciętna wysokość drzew od 24 do 27 m (tab. 1).

W wybranych drzewostanach wyznaczono reprezentatywne obszary próbne o kształcie prostokąta. Jeden z boków (100 m długości) powierzchni badawczej przylegał do otwartej przestrzeni.

Tabela 1.

Charakterystyka drzewostanów, w których zlokalizowano powierzchnie próbne
Characteristics of stands, in which sample plots were located

Nadleśnictwo	Skład	Wiek	Zd	d _{1,3} [cm]	H [m]	Współ. geogr. pow. próbnych		Kierunek przebiegu linii brzeg.
						N	E	
Miastko	10So	84	0,9	34	26	53°58'28"	16°58'3"	N-S
Miastko	10So	89	0,7	36	26	54°0'56"	16°53'59"	N-S
Warcino	10So	86	0,9	31	25	54°12'37"	16°52'28"	NW-SE
Czaplinek	10So	87	1,0	35	27	53°37'35"	16°11'57"	N-S
Czaplinek	10So	87	1,1	37	26	53°59'22"	16°24'6"	NW-SE
Łupawa	10So	83	0,7	37	24	54°23'11"	17°17'40"	N-S
Świdwin	10So	83	1,1	32	26	53°53'3"	15°44'18"	N-S
Złocieniec	10So	82	0,9	37	26	53°56'6"	15°57'32"	N-S
Czarnobór	10So	82	0,8	31	24	53°36'59"	16°40'37"	SW-NE

Drugi z boków powierzchni sięgał w głąb drzewostanu, a jego długość, ze względu na wpływ wysokości drzew na kształtowanie się przepływu mas powietrza, wynosiła 3 średnie wysokości drzewostanu. Każda z wydzielonych powierzchni próbnych została podzielona na tzw. 3 strefy obciążenia o szerokości równej przeciętnej wysokości drzewostanu; gdzie strefa A to silna ekspozycja na oddziaływanie wiatru, strefa B – ekspozycja przeciętna, C – ekspozycja słaba.

Kolejny etap prac obejmował sporządzenie charakterystyki powierzchni próbnych oraz poszczególnych stref. Z pomiarów wyłączono drzewa okrajkowe, rosnące w drugim piętrze drzewostanu, silnie pochylone, tj. takie, u których ze względu na pochYLENIE nie był możliwy pomiar wszystkich czterech promieni korony, oraz suchoczuły. Łącznie strefę A reprezentowały 564 drzewa, strefę B – 547 i strefę C – 522.

Pierśnicę ($d_{1,3}$ – w korze) zmierzono średnicomierzem z dokładnością do 1 cm, w dwóch przeciwnych kierunkach (średnicę minimalną i maksymalną oraz w kierunkach północ-południe i wschód-zachód). Wysokości drzew (h_d) oraz wysokości osadzenia żywych koron zmierzone zostały z dokładnością do 0,1 m za pomocą wysokościomierza Nikon Forestry 550. Promień korony mierzono przy użyciu dalmierza Bosch DLE 40. Przy każdym drzewie został on zmierzony czterokrotnie, tj. od strony północnej, południowej, wschodniej i zachodniej. Właściwy promień korony (r_k) otrzymano, dodając wartość uzyskaną z pomiaru dalmierzem do połowy średnicy drzewa w korze, w danym kierunku.

Średnicę korony (d_k) wyliczono według formuły:

$$d_k = (r_{kN} + r_{kS} + r_{kE} + r_{kW})/2 \quad [1]$$

gdzie:

- r_{kN} – promień korony mierzony od strony północnej,
- r_{kS} – promień korony mierzony od strony południowej,
- r_{kE} – promień korony mierzony od strony wschodniej,
- r_{kW} – promień korony mierzony od strony zachodniej.

Długość korony (l_k) otrzymano, odejmując od wysokości drzewa wartość opisującą wysokość położenia na pniu pierwszej żywej gałęzi.

Powierzchnia boczna korony (P_b [m²]) została wyliczona według wzoru [Turski in. 2012]:

$$P_b = \frac{\pi}{4} d_k \sqrt{4l_k^2 + d_k^2} \quad [2]$$

Powierzchnię podstawy (P_p) obliczono według wzoru: πr^2 .

Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą aplikacji Statistica. Badane cechy nie miały rozkładu normalnego, dlatego do testowania różnic zastosowano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa.

Wyniki

Rezultaty pomiarów pierśnicy ($d_{1,3}$) wskazują, że wartość tej cechy wzrastała wraz ze wzrostem odległości strefy od brzegu drzewostanu. Otrzymane różnice były niewielkie, rzędu kilku dziesiątych centymetra (brak istotnie statystycznych różnic). Najmniejszą różnicę stwierdzono między strefami A i B (0,4 cm), największą między strefami A i C (0,9 cm). Między strefami B i C pierśnica różniła się o 0,5 cm. Współczynnik zmienności mieścił się w granicach 18-21%, natomiast wartość mediany była zbliżona we wszystkich analizowanych strefach (tab. 2).

Wartość drzew (h_d) również rosła w kierunku od brzegu do wnętrza drzewostanu. Przeciętne wysokości różniły się statystycznie ($p < 0,01$) między strefami A i B oraz A i C. Wartość współ-

Tabela 2.

Charakterystyka statystyczna wybranych cech morfologicznych
Statistical characteristics of selected morphological features of trees

	Strefa	\bar{x}	SD	VC [%]	Min.	Max.	Q25	Me	Q75
$d_{1,3}$ [cm]	A	33,2	6,7	20,1	18,0	59,5	28,5	33,0	37,5
	B	33,6	6,3	18,8	19,0	54,0	29,5	33,0	37,5
	C	34,1	6,6	19,4	17,5	59,0	29,5	34,0	38,5
h_d [m]	A	22,3	2,9	12,9	13,8	30,4	20,2	22,4	24,2
	B	24,8	2,7	10,7	14,8	31,6	23,2	25,0	26,8
	C	25,4	2,4	9,4	17,4	32,0	23,8	25,4	27,0
l_k [m]	A	6,4	2,1	33,1	1,0	16,2	5,0	6,2	7,6
	B	6,7	1,9	28,7	1,8	14,8	5,4	6,6	8,0
	C	6,7	2,1	30,8	2,0	14,2	5,2	6,8	8,2
d_k [m]	A	4,3	1,5	34,4	1,1	9,1	3,2	4,3	5,3
	B	4,1	1,5	37,4	1,5	8,5	2,8	3,7	5,3
	C	4,2	1,7	40,5	1,3	10,1	2,8	3,9	5,6
P_p [m ²]	A	16,5	11,0	66,3	0,9	65,7	8,2	14,2	22,4
	B	14,9	11,0	73,8	1,8	56,2	6,4	10,8	22,4
	C	16,3	12,7	78,0	1,4	79,4	6,2	12,1	24,4
P_b [m ²]	A	41,8	25,0	59,6	3,7	151,9	24,2	36,9	53,7
	B	46,4	25,1	54,1	6,7	161,1	28,2	40,7	60,8
	C	46,9	26,1	55,8	5,6	192,7	27,6	41,4	60,4

czynnika zmienności opisująca wysokość drzew była niższa od wartości współczynnika obliczonego dla pierśnicy. W przypadku tej cechy wartość mediany była bardzo zbliżona do średniej arytmetycznej (tab. 2).

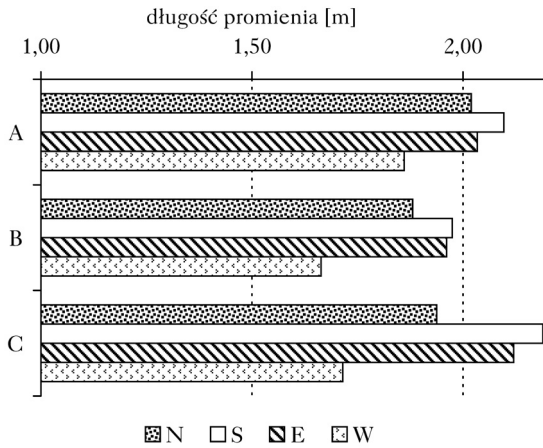
Najniższą bezwzględną długością korony (l_k) cechowały się drzewa rosnące w strefie bezpośrednio przylegającej do otwartej przestrzeni. Wewnątrz drzewostanu drzewa wykształciły dłuższe korony, przy czym różnica 0,3 m między strefami A i B oraz A i C nie była istotna statystycznie. Wartość mediany rosła w kierunku od brzegu do wnętrza drzewostanu (tab. 2).

Najniższą wartością średnicy korony (d_k) charakteryzowały się drzewa ze strefy B, największą natomiast drzewa rosnące w strefie A. Średnie w strefach były do siebie zbliżone. Większe dysproporcje stwierdzono w przypadku mediany, co potwierdziła analiza statystyczna. Istotne różnice wystąpiły między strefami A i B oraz A i C ($p < 0,01$). Powierzchnia podstawy korony (P_p) była najwyższa w strefie A, najniższa w strefie B. Test mediany wykazał, że między strefami A i B oraz A i C różnice były istotne statystycznie ($p < 0,01$). Powierzchnia boczna korony (P_b) malała wraz ze wzrostem odległości od brzegu drzewostanu: między strefami A i B o 4,6 m², między B i C o 0,5 m². Różnice nie były istotne statystycznie (tab. 2).

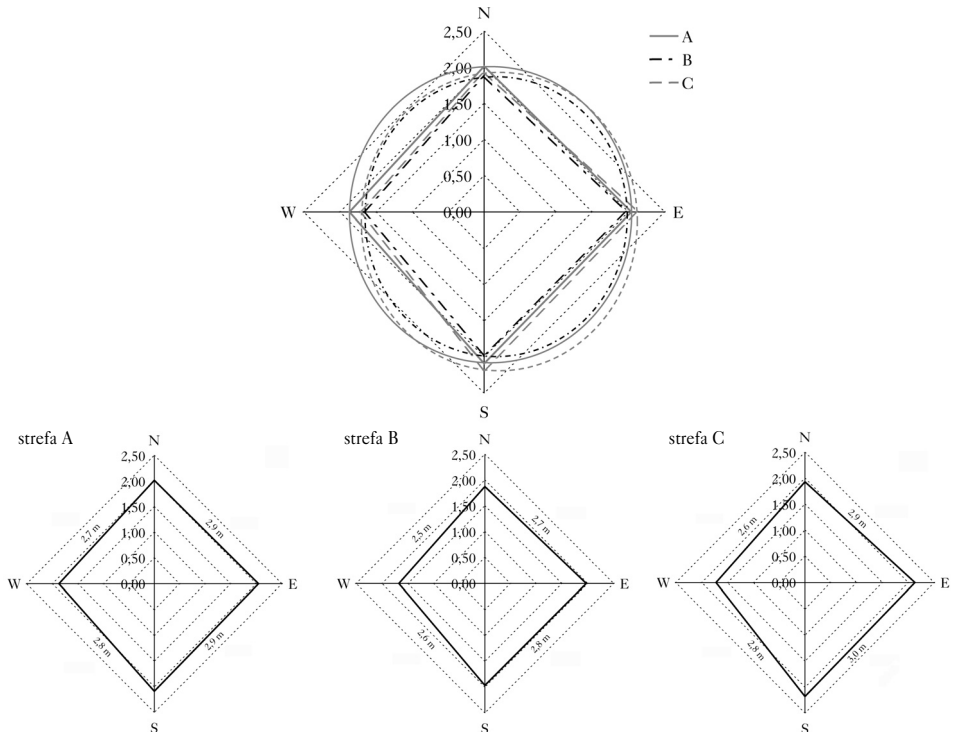
Analizując poszczególne promienie korony, które zostały zorientowane zgodnie z kierunkami geograficznymi, stwierdzono, że najkrótszy (1,95 m) występował po zachodniej stronie drzewa, najdłuższy natomiast po stronie południowej (2,09 m). Po stronie północnej jego przeciętna długość wynosiła 1,95 m, a po wschodniej 2,04 m. Porównywalny rozkład wartości zaobserwowano w każdej ze stref, co oznacza, że podstawy koron, pomimo iż różnią się wielkością, mają podobne kształty (ryc. 2). Generalnie strona zachodnia charakteryzowała się najkrótszym promieniem w każdej ze stref. Najdłuższe zaobserwowano w strefie C po stronach wschodniej i południowej (ryc. 1).

Podstawy koron drzew różnią się powierzchnią, natomiast pod względem kształtu są bardzo podobne. Łącząc poszczególne wartości promieni, otrzymano czworokąt. Analiza długości jego

boków wykazała, że najkrótszym bokiem jest bok łączący północ z zachodem (przeciętna długość – 2,6 m), najdłuższy to bok łączący południe ze wschodem (2,9 m). Długość boku łączącego kierunek zachodni z południowym wynosiła 2,7 m, natomiast boku łączącego północ ze wschodem 2,8 m. U podstawy korona drzew rozszerza się więc w kierunku od północno-zachodu do południowo-wschodu. Najbardziej w strefie C (różnica 0,4 m), przeciętnie w strefie B (0,3 m), najmniej w strefie A (0,2 m) (ryc. 2).



Ryc. 1.
Długość promienia korony drzew w strefach w zależności od kierunku geograficznego
Length of crown radius in determined zones depending on geographical direction



Ryc. 2.
Kształt podstaw korony drzew w strefach
Shape of tree crown bases in the established zones

Dyskusja

Średnie wartości wysokości i pierśnicy oraz długość, powierzchnia boczna korony i jej promień w kierunku wschodnim rosły, a promienie w kierunku północnym, południowym i zachodnim malały wraz z odległością od brzegu drzewostanu. Szczególne zróżnicowaną cechą była wysokość drzew. W strefie B (przeciętna ekspozycja na oddziaływanie wiatru) drzewa były wyższe od drzew w strefie A (silna ekspozycja na oddziaływanie wiatru) o 2,5 m, natomiast w strefie C (słaba ekspozycja na oddziaływanie wiatru) o 3,1 m. Prawdopodobnie jest to skumulowany efekt oddziaływania wiatru oraz warunków wzrostu i rozwoju drzewa wynikających z postępowania gospodarczego. Wiatr ogranicza wzrost drzew na wysokość [Zhu i in. 2004], natomiast w postępowaniu gospodarczym okrajek zaleca się pielęgnować intensywniej niż wewnątrz drzewostanu [Puchalski, Prusinkiewicz 1975]. Większa przestrzeń wzrostu to relatywnie mniejszy przyrost drzew na wysokość. Uwagę na zróżnicowanie wysokości drzew rosnących w różnej odległości od brzegu drzewostanu zwraca też Brüchert [2000]. W swoich badaniach wykazuje ponadto brak istotnych różnic pomiędzy pierśnicami drzew z poszczególnych części drzewostanu. Wydaje się więc, że jest to cecha w nieznacznym stopniu zależna od oddziaływania wiatru. Wyniki prezentowane w tej pracy oraz podawane przez Brüchert [2000] są jednak wartościami przeciętnymi dla co najmniej dwóch średnic – minimalnej i maksymalnej. Jeżeli spojrzymy na pierśnicę drzewa pod innym kątem, zauważymy, że przekrój pni drzew poddawanych permanentnemu kołysaniu ma kształt eliptyczny. Tomczak i in. [2012b] stwierdzili, że udział drzew z eliptycznym kształtem przekroju pierśnicowego maleje z 89% w strefie A do 79% w strefie C oraz że średnica maksymalna w ponad 80% przypadków zorientowana jest wzdłuż osi wschód-zachód. Według Kojas i in. [2012] zjawisko to można tłumaczyć stresem mechanicznym wpływającym na funkcjonowanie kambium. Jeżeli siły na obwodzie pnia rozkładają się symetrycznie, wzrost jest koncentryczny. Jeśli jednak pojawi się niewielkie odchylenie pnia od pionu, zmienia się sposób funkcjonowania kambium i w efekcie pojawia się ekscentryczność.

Zdaniem Petty'ego i Swaina [1985] na wielkość momentu zginającego zasadniczy wpływ wywiera obciążenie wiatrem górnej połowy korony. Jest to bowiem ta część okapu drzewostanu, w której wiatr osiąga największe prędkości. Z uzyskanych danych wynika, że powierzchnia boczna koron drzew rośnie wraz ze wzrostem odległości od brzegu drzewostanu.

Na tej podstawie założyć można, że powierzchnia boczna korony od strony nawietrznej również będzie rosła, nawet wtedy, gdy weźmiemy pod uwagę wyłącznie odcinek wierzchołkowy. Nie powinno to jednak stwarzać zagrożenia dla stabilności drzewa, ponieważ prędkość i siła wiatru są wewnątrz drzewostanu znacznie mniejsze niż na jego brzegu [Stacey i in. 1994; Gardiner in. 2000].

O sile, z jaką wiatr o określonej prędkości działa na koronę, poza ażurowością i polem powierzchni bocznej prostopadłej do kierunku strumienia powietrza, decyduje jej średnica [Zajączkowski 1991]. Przeciętna średnica korony w strefie A wynosiła 4,3 m, w strefie B 4,1 m, w strefie C 4,2 m. Są to wartości charakterystyczne dla sosny V klasy wieku, zbliżone do podawanych przez Kaźmierczak [2009] oraz Turskiego i in. [2012]. Różnice między strefami są co prawda niewielkie, mogą one jednak wskazywać na pewne zjawiska zachodzące w koronach drzew. Schemat przepływu strumienia powietrza zmienia się, gdy napotyka on przeszkodę, w tym wypadku drzewostan [Dupont, Brunet 2008]. Zdaniem Zajączkowskiego [1991] dochodzi do sprzężenia zwrotnego, które powoduje, że poza innymi czynnikami, budowa drzewostanu może nie tylko osłabić, ale i wzmocnić szkodliwość wiatru. Jeżeli wiatr napotyka na stosunkowo zwartą przeszkodę (okrajek zamknięty), powstają turbulencje, które obciążają pas drzew rosnących za

skrajem. Efekt ten występuje w ograniczonym zakresie, gdy mamy do czynienia z okrajkiem otwartym, gdzie znaczna część mas powietrza dostaje się do wnętrza drzewostanu i przepływa pod okapem koron. W strefie B przeciętna średnica koron była najniższa, a długość równa długości koron w strefie C. Oznacza to, że w strefie B – pasie drzewostanu rosnącym za skrajem, obciążanym przez turbulencyjne ruchy powietrza – drzewa charakteryzowały się koronami bardziej smukłymi.

O szczególnym wpływie wiatru na rozwój koron drzew świadczyć może też ich asymetryczność. Wykształcanie asymetrycznej korony jest naturalną reakcją drzew na działanie czynnika wiatrowego [Rudnicki i in. 2001, 2003]. Uwzględniając długości poszczególnych promieni, zauważono, że najniższymi wartościami charakteryzowała się strona zachodnia i północna. Łącząc skrajne wartości poszczególnych promieni, otrzymujemy na wykresie trzeci bok trójkąta prostokątnego. Po obliczeniu jego długości okazało się, że odcinek łączący stronę północną z zachodnią jest najkrótszy, najdłuższy natomiast to odcinek łączący stronę wschodnią i południową. Kształt uzyskanego czworokąta sugeruje, że podstawa korony będzie miała zarys owalu z jedną osią symetrii. Na badanym obszarze widoczna jest przewaga wiatrów z kierunków bliskich zachodniemu [Zajączkowski 1991; Lorenc 2005]. Geometria korony może więc być wyrazem adaptacji oraz zróżnicowania w warunkach wzrostu i rozwoju drzew we fragmentach drzewostanu różnie eksponowanych na działanie wiatru. Według Selliera i Fourcaurda [2009] w znacznej mierze decydować też może o odporności drzew na działanie wiatru o szczególnie dużej sile i prędkości.

Wnioski

- ✦ Wraz ze wzrostem odległości od brzegu drzewostanu pierśnica i wysokość drzewa, powierzchnia boczna korony oraz długość promienia w kierunku wschodnim rosną, a długości promieni w kierunku północnym, południowym i zachodnim maleją.
- ✦ Średnica koron drzew rosnących w strefie przeciętnie eksponowanej na działanie wiatru (strefa B) była mniejsza (najmniejsza powierzchnia podstawy) niż średnice charakteryzujące drzewa rosnące na skraju (strefa A) i w głębi drzewostanu (strefa C).
- ✦ Najkrótszymi koronami cechowały się drzewa rosnące w strefie zlokalizowanej na skraju drzewostanu. W strefach położonych w głębi drzewostanu różnic w długości korony nie stwierdzono.

Literatura

- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010. Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr. Leśne Prace Badawcze 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.
- Brüchert F. 2000. The influence of the site factor wind exposure on wood quality. Final Report: Project FAIR CT 98 5038.
- Duncker P., Spiecker H. 2008. Cross-sectional compression wood distribution and its relation to eccentric radial growth in *Picea abies* [L.] Karst. Dendrochronologia 26: 195-202.
- Dupont S., Brunet Y. 2008. Impact of forest edge shape on tree stability: a large-eddy simulation study. Forestry 81 (3): 299-315; doi:10.1093/forestry/cpn006.
- Ennos A. R. 1997. Wind as an ecological factor. Trends in Ecology & Evolution 12 (3): 108-111.
- Gardiner B., Byrne K., Hale S., Kamimura K., Mitchell S. J., Peltola H., Ruel J. C. 2008. A review of mechanistic modeling of wind damage risk to forests Forestry 81 (3): 447-463; doi:10.1093/forestry/cpn022.
- Gardiner B. A., Peltola H., Kellomäki S. 2000. Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. Ecological Modelling 129: 1-23.
- Jaszcak R., Miotke M. 2009. Defoliacja górnej części i całej korony drzew sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Sylwan 153 (9): 607-616.

- Każmierczak K. 2009. Wybrane miary przestrzeni wzrostu pojedynczego drzewa w bliskorębnym drzewostanie sosnowym. *Sylvan* 153 (5): 298-303.
- Kojs P., Malik I., Wistuba M. 2012. Mechanizmy wzrostu ekscentrycznego i formowania się drewna reakcyjnego w kontekście badań dendrogeomorfologicznych – wprowadzenie do nowej hipotezy. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 14/1 (30): 147-156.
- Lemke J. 1966. Korona jako kryterium oceny dynamiki wzrostowej drzew w drzewostanie sosnowym. *Fol. For. Pol., Ser. A* 12: 185-236.
- Lemke J. 1968. Związek pomiędzy wielkością korony a przyrostem drzew w drzewostanach sosnowych. *Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN* 25: 1-48.
- Lorenc H. [red.]. 2005. *Atlas Klimatu Polski*. IMGIW, Warszawa.
- Peltola H., Kellomäki S. 1993. A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage of Scots pine at stand edge. *Silva Fennica* 27 (2): 99-111.
- Petty J. A., Swain C. 1985. Factors influencing stem breakage of conifers in high wind. *Forestry* 58 (1): 75-83.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1975. *Ekologiczne podstawy siedlisko znawstwa leśnego*. PWRiL, Warszawa.
- Rudnicki M., Lieffers V. J., Silins U. 2003. Stand structure governs the crown collisions of lodge pole pine. *Can. J. For. Res.* 33, 1238-1244.
- Rudnicki M., Silins U., Lieffers V. J., Josi G. 2001. Measure of simultaneous tree sways and estimation of crown interactions among a group of trees. *Trees* 15: 83-90.
- Rymer-Dudzińska T. 1992a. Smukłość drzew w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 136 (11): 19-25.
- Rymer-Dudzińska T. 1992b. Zależność średniej smukłości drzew w drzewostanach sosnowych od różnych cech taksacyjnych drzewostanu. *Sylvan* 136 (12): 19-25.
- Sellier D., Fourcaud T. 2009. Crown structure and wood properties: influence on tree sway and response to high winds. *American Journal of Botany* 96 (5): 885-896.
- Sobik M., Błaś M. 2010. Wyjątkowe zdarzenia meteorologiczne. W: Migoń P. [red.]. *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na dolnym Śląsku i ich skutki*. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego 14.
- Stacey G. R., Belcher R. E., Wood, C. J., Gardiner B. A. 1994. Wind flows and forces in a model spruce forest. *Boundary – Layer Meteorology* 69: 311-334.
- Telewski F. W. 1995. Wind – induced physiological and developmental response in trees. W: Coutts M. P., Grace J. [red.]. *Wind and Trees*. Cambridge University Press. 237-263.
- Tomczak A., Jelonek T., Jakubowski M. 2012a. Zmiany w budowie i właściwościach drewna jako efekt oddziaływania wiatru na drzewa. *Sylvan* 156 (10): 776-783.
- Tomczak A., Jelonek T., Pazdrowski W. 2012b. Ekscentryczność pni sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów silnie eksponowanych na wiatr. *PTPN, Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych* 103: 41-46.
- Turski M., Jaszczak R., Deus R. 2012. Wybrane charakterystyki koron drzew i ich związek z pierśnicą oraz wysokością w drzewostanach sosnowych różnych klas wieku. *Sylvan* 156 (5): 369-378.
- Wade J. E., Hewson E. W. 1979. Trees as a local climatic wind indicator. *J. App. Meteo.* 18: 1182-1187.
- Zajączkowski J. 1991. *Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu*. Wydawnictwo Świat. Warszawa.
- Zhu J. J., Liu Z.-G., Li X.-F., Matsuzaki T., Gonda Y. 2004. Review: effects of wind trees. *J. For. Res.* 15 (2): 153-160.
- Żybura H. 1977. Długość koron drzew w drzewostanach sosnowych. *Sylvan* 121 (1): 13-20.

SUMMARY

Characteristics of selected morphological traits of trees in mature Scots pine stands exposed to wind

In forestry practice morphological traits of trees and crowns are indicators of dynamics of development processes in trees and stands, as well as important criteria in the assessment of risk of wind damage. The aim of the study was to compare selected morphological traits of trees in mature Scots pine stands (aged from 82 to 89 years) exposed to the wind (tab. 1). The basic criterion for the selection of stands was connected with their close location to free space (meadow, field). A total of 9 sample plots were established in the northern part of Poland in the stands, in which the western edge was relatively straight, close to the north-south direction. One of the sides (100 m in length) was

adjacent to open space. Another side reached inside the stand and its length in view of the effect of tree height on air mass flow was equivalent to 3 mean stand heights. Each of the established sample plots was divided into 3 so-called load zones with their widths equal to the average stand height, where zone A refers to strong, zone B – medium and zone C – weak exposure to the wind.

Breast height diameter, tree height, lateral area of the crown and crown length increased with an increase in the distance from the edge of stand. Tree height was a particularly variable trait. In zone B trees were taller than in zone A by 2.5 m, while in zone C by 3.1 m. In zone B the average crown diameter was the smallest and crown length was equal to crown length in zone C. This means that trees in zone B had more slender crowns. It may be assumed that in terms of their architecture they were better adapted to loads caused by turbulent air masses. A particularly important effect of wind on crown development may also be indicated by their asymmetry. Crown bases were oval in outline with the longer symmetry axis oriented in the north-west, south-east direction. In the analysed area westerly winds dominate. Crown geometry may also indicate adaptation to local wind conditions and reflect differences in tree growth and development conditions in the sections of the stands differing in their exposure to the wind.