

Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów eksponowanych na działanie wiatru¹

Tomasz Jelonek, Arkadiusz Tomczak, Witold Pazdrowski

Abstrakt. Celem pracy była analiza wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien drewna sosny zwyczajnej, wyrosłej w drzewostanach szczególnie narażonych na obciążenia wiatrowe. Do badań zakwalifikowano drzewostany V klasy wieku, pierwszej bonitacji, wyrosłe w warunkach siedliskowego typu lasu – bór mieszany świeży, o zwarciu przerywanym. Na ich obszarze oznaczono reprezentatywne obszary próbne. Miały one kształt prostokąta, gdzie jeden z boków (100 m długości) przylegał do otwartej przestrzeni, drugi sięgał w głąb drzewostanu. Długość drugiego z boków ze względu na wpływ wysokości drzew na kształtowanie się przepływu mas powietrza, wynosiła 3 średnie wysokości drzewostanu. Każda z wydzielonych powierzchni została podzielona na tzw. 3 strefy obciążenia, gdzie strefa A to silna ekspozycja na oddziaływanie wiatru, strefa B – ekspozycja przeciętna, C – ekspozycja słaba. Ich szerokość równała się przeciętnej wysokości drzewostanu. Ekspozycja drzewa w drzewostanie na oddziaływanie wiatru, określona na podstawie odległości od brzegu drzewostanu, okazała się czynnikiem niemającym istotnego wpływu na wytrzymałości drewna na ściskanie wzdłuż włókien. Przeciętna wytrzymałość co prawda była niższa u drzew z wnętrza drzewostanu, stwierdzone różnice nie były jednak statystycznie istotne. Statystycznie istotne różnice stwierdzono natomiast pomiędzy stronami zawietrzną i nawietrzną. W strefie silnych obciążeń wiatrowych (A) wytrzymałość drewna istotnie różniła się na dwóch poziomach, w strefie obciążeń przeciętnych (B) na jednym. W strefie słabych obciążeń wiatrowych (C) istotnych różnic nie stwierdzono. Bardziej wytrzymałe drewno po stronie pnia poddawanej silnym naprężeniom ściskającym stawia większy opór, co powinno tym samym wpłynąć na całkowitą zdolność drzewa do przeciwstawiania się naporowi wiatru.

Słowa kluczowe: wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż włókien, wzrost adaptacyjny, biomechanika drzew.

Abstract: Compressive strength along the grain of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood from wind-exposed stands. The aim of this study was to analyze compressive strength along the grain in wood of Scots pines, growing in stands particularly exposed to wind loads. Stands of age class V, quality class I, growing in the fresh mixed coniferous forest sites with broken crown

¹ 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.

closure were selected for this study. Representative sample plots were established in these stands. They were rectangular in shape, with one side (100 m in length) adjacent to the open space and another reaching deep into the stand. The length of the other side due to the effect of tree height on the modification of air mass flow was equivalent to 3 mean heights of the stand. Each of the designated plots was divided into 3 so-called load zones, where zone A reflected strong exposure to wind action, zone B – average exposure, while zone C – weak exposure. Their width was equivalent to the average height of the stand. Exposure of trees in the stand to the action of wind, determined on the basis of the distance from the stand edge, turned out to be a factor with no significant effect on compressive strength along the grain. Although average strength was lower in trees from the middle of the stand, the recorded differences were statistically non-significant. In turn, statistically significant differences were observed between leeward and windward sides. In the zone of strong wind loads (A) wood strength differed significantly at two levels, while in the zone of average loads (B) – at one. In the zone of weak wind loads (C) no significant differences were found. More resistant wood on the side of the stem subjected to strong compressive stresses exerts greater resistance, which thus should affect the total capacity of a tree to counter the wind load.

Key words: compressive strength along the grain, adaptive growth, biomechanics of trees.

Wstęp

Ruch mas powietrza w lesie, kierunki oraz prędkość przepływu związane są z cechami taksonomicznymi drzewostanu, a w szczególności cechami okrajka. Przy okrajku zamkniętym (szczelny skraj lasu porośnięty drzewami z nisko osadzonymi koronami oraz podszytem) wiatr ma ograniczony dostęp do wnętrza drzewostanu. Masy powietrza, które napotyka taką przeszkodę, gwałtownie wznoszą się, prędkość ich przepływu zwiększa się, powstają silne turbulencje, które w szczególności obciążają pas drzew rosnących za pasem drzew okrajkowych (Irvine et al. 1997). W przypadku okrajka otwartego część mas powietrza dostaje się do wnętrza drzewostanu i tam wyhamowuje, część wznosi się. Powstające turbulencje nie wywołują jednak tak silnych obciążeń.

Pod wpływem obciążeń wiatrowych pnie drzew poddawane są dodatkowym naprężeniom ściskającym, rozciągającym czy też skręcającym. Efekt ich oddziaływania wyraża się reakcją fizjologiczną lub objawia się w postaci uszkodzeń mechanicznych (Wade, Hewson 1979, Tomczak et al. 2012a). Reakcja fizjologiczna na etapie tworzenia się tkanki drzewnej prowadzi do zmian w jej budowie. Jak twierdzą Kojisi in. (2012) pod wpływem stresu mechanicznego zmienia się wzór funkcjonowania kambium. W miejscach poddawanych silniejszym naprężeniom aktywność kambium jest większa, co w efekcie prowadzi do ekscentryczności przekroju poprzecznego pnia. W drzewostanach eksponowanych na działanie wiatru ponad 80% drzew charakteryzuje się spłaszczonym pniem na poziomie pierśnicy, przy czym odsetek ten maleje wraz ze wzrostem odległości od brzegu drzewostanu (Tomczak in. 2012b). Zmiany te mają więc charakter adaptacyjny, niedziedziczny, a na ich występowanie wpływa środowisko.

Badając zmienność drewna, dostrzec można, jak różnorodne są jej przyczyny. W drewnie obserwowane są między innymi wyraźne wpływy położenia geograficznego, siedliskowego typu lasu, pozycji biosocjalnej drzewa w drzewostanie, czy też zabiegów gospodarczych (Tomczak et al. 2009a; 2009b). W literaturze dotyczącej badań relacji drzewo–wiatr wiele miejsca poświęca się zagadnieniom związanym z wpływem wiatru na morfologię czy też mechanikę pni, analizowane są szkody od wiatru, tworzone są modele ryzyka uszkodzeń drzewostanów przez wiatr (Bruchwald, Dmyterko 2011). Badania relacji drewno–wiatr prowadzone były głównie na materiale pochodzącym z wiatrolomów (Jakubowski, Pazdrowski 2006; Jakubowski et al. 2007; Meyer et al. 2008; Tomczak et al. 2011a; 2011b). Analizę wpływu ekspozycji drzewa w drzewostanie na zróżnicowanie właściwości drewna można znaleźć w pracy Brüchert (2000). Autorka przeanalizowała szereg właściwości drewna świerków rosnących w różnej odległości od brzegu drzewostanu i stwierdziła, że zróżnicowanie wystąpiło, lecz nie było na tyle duże, by być statystycznie istotnym. Świerk charakteryzuje się specyficznym pokrojem, co ma wpływ na jego statykę, nie wiadomo więc czy w przypadku innych gatunków wnioski będą podobne.

Celem pracy jest analiza wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien drewna sosny zwyczajnej, wyrosłej w drzewostanach szczególnie narażonych na obciążenia wiatrowe. Są to powierzchnie przylegające zachodnim skrajem do otwartej przestrzeni. Biorąc pod uwagę kierunek panujących wiatrów w Polsce oraz specyfikę ruchów mas powietrza napotykalających ścianę drzewostanu, należy przypuszczać, że założenie to pozwoli skategoryzować obciążenia wiatrowe na silne, przeciętne i słabe. W pracy założono bowiem, że wraz ze wzrostem odległości od skraju lasu, w drzewostanie kształtują się specyficzne warunki wpływające na wzrost i rozwój drzew, a tym samym na modyfikacje tkanki drzewnej, rzutując na kształtowanie się jego wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien.

Metodyka badań

Powierzchnie próbne założono w drzewostanach, gdzie zachodni skraj lasu miał stosunkowo prosty przebieg zbliżony do kierunku północ–południe. Warunek ten związany był z dominującym kierunkiem wiatru. W Polsce jak i w całej Europie Środkowej widoczna jest przewaga wiatrów z kierunków bliskich zachodniemu (Atlas Klimatu Polski 2005; Zajączkowski 1991). Z tych kierunków należy spodziewać się również zdarzeń wiatrowych o zasięgu wielkoskalowym (Sobik, Błaś 2010). Dodatkowymi kryteriami były: wiek, warunki siedliskowe, bonitacja, zwarcie oraz przeciętna pierśnica i wysokość drzew. Przyjęto, że do badań zostaną zakwalifikowane drzewostany V klasy wieku, pierwszej bonitacji. Wybrane drzewostany charakteryzowały ponadto takie cechy jak: siedliskowy typ lasu – bór mieszany świeży, zwarcie przerywane, przeciętna pierśnica między 31 a 37 cm oraz wysokość między 24 i 27 m (tab. 1).

W wybranych drzewostanach oznaczono reprezentatywne obszary próbne. Miały one kształt prostokąta, gdzie jeden z boków (100 m długości) przylegał do otwartej przestrzeni, drugi sięgał w głąb drzewostanu. Długość drugiego z boków ze względu na wpływ wysokości drzew na kształtowanie się przepływu mas powietrza, wynosiła 3 średnie wysokości drzewostanu. Każda z wydzielonych powierzchni została podzielona na tzw. 3 strefy obciążenia, gdzie strefa A to silna ekspozycja na oddziaływanie wiatru, strefa B – ekspozycja przeciętna, C – ekspozycja słaba. Ich szerokość równała się przeciętnej wysokości drzewostanu.

Kolejny etap prac obejmował sporządzenie charakterystyki powierzchni próbnych oraz poszczególnych stref. Pomierzono wysokość i pierśnicę w dwóch przeciwległych kierunkach,

Tab. 1. Charakterystyka drzewostanów, w których zlokalizowano powierzchnie próbne
Table 1. Characteristics of stands, in which mean sample plots were located

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

wysokość osadzenia pierwszej żywej gałęzi oraz średnice koron w dwóch przeciwległych kierunkach. Z pomiarów wyłączono drzewa okrajkowe, rosnące w drugim piętrze drzewostanu, silnie pochylone oraz suchoczuby. Na podstawie zebranych danych metodą dendrometryczną Uricha I w każdej ze stref wybrano po trzy drzewa modelowe. Łącznie 63, po 21 dla każdej strefy.

W strefie A drzewa były oddalone od brzegu drzewostanu przeciętnie o 15 m, w strefie B wartość ta wynosiła 40 m, w strefie C – 66 m. Wysokość drzew modelowych zwiększała się wraz ze wzrostem odległości od brzegu drzewostanu. W przypadku pierśnicy podobną zależność zaobserwować można jedynie w odniesieniu do drzew panujących (tab. 2).

Tab. 2. Charakterystyka drzew modelowych
Table 2. Characteristics of model trees

Strefa	N	B _d [m]		H [m]		D _{1,3} [cm]		L _k [m]		D _k [m]		H:D	
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
A	21	15	7,2	24,2	2,0	32,7	7,4	8,3	2,1	5,4	2,0	77	16
B	21	40	7,8	25,8	2,7	33,5	6,6	7,2	2,1	4,3	1,7	79	14
C	21	66	9,3	27,0	3,1	33,6	7,2	7,3	2,7	4,8	2,2	83	14

N – liczba drzew; B_d – odległość od brzegu drzewostanu; H – wysokość; D_{1,3} – pierśnica; h:d – współczynnik smukłości; L_k – długość korony; D_k – średnica korony

Materiał do analiz wybranych właściwości drewna pobrany został ze ściętych drzew modelowych. Zmienność osiową właściwości drewna określono na podstawie prób z pięciu poziomów (sekcji) położonych na różnej wysokości pnia. Pierwszy zlokalizowano na poziomie pierśnicy, drugi i kolejne określono wartością względną. Przyjęte poziomy obejmowały 20, 40, 60, 80% wysokości każdego drzewa.

Na poziomie każdej sekcji wykonano próby do badań wybranej właściwości drewna. Próby obejmowały część pnia leżącą między rdzeniem a obwodem, w dwóch kierunkach – wschodnim i zachodnim, zgodnie z kierunkami świata. Aby uzyskane wyniki były zbliżone do właściwości drewna, jakimi charakteryzują się pnie drzew rosnących, analizy wykonano przy wilgotności wyższej niż 30% (powyżej punktu nasycenia włókien). Wilgotność graniczna błon uzyskana została poprzez zanurzenie próbek w wodzie aż do momentu osiągnięcia przez nie stabilności wymiarowej, tj. do czasu, gdy przyrost poszczególnych wymiarów próbki mierzony w odstępie 72 godzin jest równy lub mniejszy niż 0,2 mm (PN-79/D-04101). Badanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien wykonano zgodnie z PN-79/D-04102.

Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą aplikacji Statistica. Badana cecha nie miała rozkładu normalnego, dlatego do testowania różnic zastosowano nieparametryczny test U Manna –Whitneya.

Wyniki badań

Wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż włókien sosen wyrosłych w różnych odległościach od brzegu drzewostanu była bardzo podobna. Zaobserwowane różnice w wartościach średnich nie były wyższe od kilku dziesiątych mega paskala, a w przypadku mediany wartości ze stref A i B były identyczne (tab. 3).

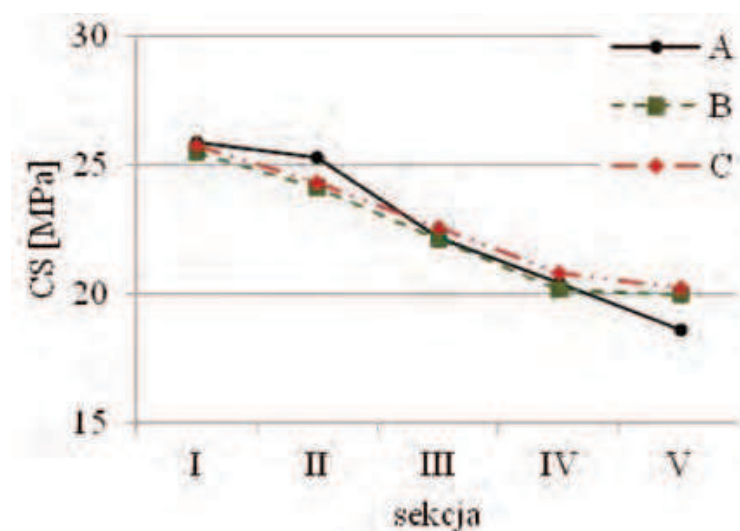
Tab. 3. Charakterystyka statystyczna wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien drewna sosen w strefach obciążenia

Table 3. Statistical characteristics of compressive strength along the grain in load zones

Strefa	\bar{x} [MPa]	N	SD	Min	Max	Q25	Me	Q75
A	23,5	641	4,7	10,3	39,4	20,2	23,2	26,6
B	23,1	620	4,5	9,0	37,9	19,9	23,2	26,0
C	23,3	593	4,7	10,7	37,3	19,9	23,0	26,6

Wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż włókien maleje wraz ze wzrostem odległości od podstawy pnia. Różnica wzdłuż całego pnia (między skrajnymi sekcjami) w strefie A wyniosła 7 MPa, w strefie B – 6 MPa i w C również 6 MPa. U drzew ze strefy B i C zmienność osiowa wytrzymałości drewna na ściskanie wzdłuż włókien jest bardzo podobna (ryc. 1).

Wartości wytrzymałości drewna w sekcjach charakteryzujące strefy są do siebie bardzo zbliżone – różnice nie są istotne statystycznie. Wyjątki: pierwszy na poziomie sekcji drugiej, między strefami A i B oraz drugi na poziomie sekcji V – tutaj między drzewami wyrosłymi najbliżej brzegu drzewostanu (strefa A) a drzewami wyrosłymi najdalej (strefa C) (tab. 4).



Ryc. 1. Osiowe zróżnicowanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien drewna sosen w strefach obciążenia

Fig. 1. Axial variation of compressive strength along the grain of Scots pine wood in load zones

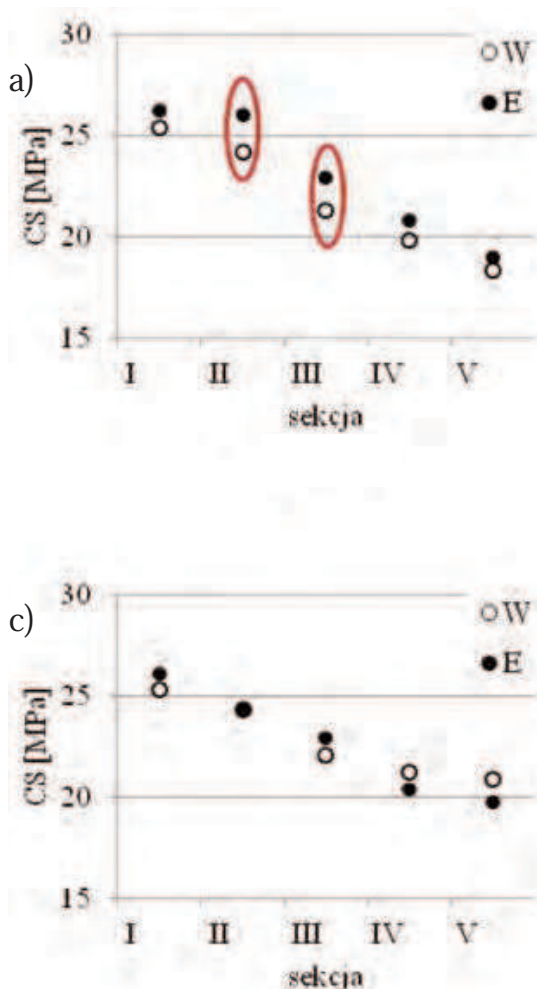
Tab. 4. Wyniki testu U Manna–Whitneya dla wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien w sekcjach pomiędzy strefami obciążenia

Table 4. Results of the U Mann–Whitney test for compressive strength along the grain in sections between load zones

Kierunek analizy	A-B	A-C	B-C	
Sekcja	I	0,491793	0,998302	0,536759
	II	0,041107	0,136893	0,726524
	III	0,968380	0,455833	0,482741
	IV	0,456797	0,904435	0,439810
	V	0,068944	0,004681	0,522100

Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$

W strefie A na poziomie każdej sekcji wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż włókien jest wyższa po stronie E, a statystycznie istotna różnica wystąpiła w sekcjach II i III (ryc. 2a). W strefie B różnice pomiędzy stronami nie są już tak wysokie. Istotną różnicę stwierdzono jedynie na poziomie sekcji II (ryc. 2b). W strefie C do poziomu sekcji III wytrzymałość jest bardzo podobna, a wyżej bardziej zróżnicowana, przy czym wyższe wartości stwierdzono po stronie W. Nie były one jednak statystycznie istotne (ryc. 2c).



Ryc. 2a–c. Różnice wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien w zależności od strony pnia i sekcji: a) w strefie A, b) w strefie B, c) w strefie C

Obwódka zaznaczono statystycznie istotne różnice ($p < 0,05$) pomiędzy stronami pnia.

Figs. 2a–c. Differences in compressive strength along the grain depending on the side of stem and section: a) in zone A, b) in zone B, c) in zone C. Statistically significant differences ($p < 0.05$) between stem sides are circled.

Dyskusja

Ekspozycja drzewa w drzewostanie na oddziaływanie wiatru, określona na podstawie odległości od skrajów drzewostanu, okazała się czynnikiem niemającym istotnego wpływu na wytrzymałości drewna na ściskanie wzdłuż włókien. Przeciętna wytrzymałość co prawda była niższa u drzew z wnętrza drzewostanu, stwierdzone różnice nie były jednak statystycznie istotne. Do podobnych wniosków doszła Brüchert (2000), która analizowała wytrzymałość na zginanie statyczne oraz moduł elastyczności drewna świerka.

W głębi drzewostanu drzewa są wyższe i smuklejsze, mają wyżej osadzone korony. Z ich profilu biomechanicznego wynika więc, że są mniej stabilne w stosunku do drzew wyrosłych bliżej skrajów lasu. Charakteryzują się jednak podobnymi parametrami technicznymi drewna, co sugerować może, że w układzie biomechanicznym drzewa odgrywają one marginalną rolę. Do takiego stwierdzenia skłaniają również obserwacje zmian zachodzących wzdłuż pni drzew. Wytrzymałość drewna malała wraz ze wzrostem odległości od podstawy pnia. Jest to powszechnie znana prawidłowość, wynikająca między innymi z obecności w pniu dwóch zróżnicowanych pod względem właściwości i struktury stref drewna – wewnętrznej położonej w pobliżu rdzenia, zwanej drewnem młodocianym i zewnętrznej, przyobwodowej zwanej drewnem dojrzałym (Tomczak et al. 2010; Tomczak, Jelonek 2012). Udział drewna młodocianego na przekroju

poprzecznym pnia rośnie wraz z wysokością, w części wierzchołkowej osiągając wartość 100% (Tomczak i in. 2007). Wiek kambialny wpływa na zmienność promieniową drewna (Kärenlampi, Riekkinen 2004). Im starsze drzewo, tym różnica między parametrami stref przyrdzeniowej i przyobwodowej jest większa. Wydawać się więc może, że zmienność promieniowa wpływać będzie na biomechanikę drzewa. Tomczak i in. (2011a; 2011b), badając drewno wiatrołomów sosny zwyczajnej, zaobserwowali, że w strefie przyobwodowej przekroju poprzecznego pnia parametry techniczne drewna drzew kontrolnych (nieuszkodzonych przez wiatr) są wyższe. W strefie przyobwodowej występują najsilniejsze naprężenia, podobnie najsilniejsze naprężenia występują w dolnych częściach pnia. Porównując wytrzymałość drewna na poziomie pierśnicy (sekcja I), najwyższe wartości zaobserwowano w odniesieniu do drzew ze strefy A (przylegającej do brzegu drzewostanu). Podobną sytuację stwierdzono na poziomie sekcji II (20% wysokości drzewa) i co bardzo ważne, w tym przypadku różnice były statystycznie istotne. Nie można więc definitywnie wykluczyć roli czynnika wiatrowego. Jego wpływ na różnicowanie się parametrów technicznych drewna prawdopodobnie wyraża się w zmienności promieniowej i osiowej drewna. Nie można też wykluczyć założenia, że zmiany w budowie i właściwościach drewna są wyrazem mechanizmu adaptacyjnego drzew, indukowanego pod wpływem zespołu różnorodnych czynników lub wybranego czynnika środowiskowego.

W przeprowadzonej analizie uzyskane wyniki podzielono na dwie grupy. Pierwsza reprezentowana była przez próby położone po zachodniej stronie rdzenia (nawietrznej). Drugą reprezentowały próby położone po stronie wschodniej (zawietrznej). Okazało się, że po stronie zawietrznej wytrzymałość drewna była wyższa, szczególnie w odniesieniu do drzew ze strefy A. Ekscentryczność pni wiąże się z przesunięciem rdzenia, tutaj w kierunku zachodnim. Po stronie wschodniej słoje będą więc szersze z mniejszym udziałem drewna późnego. Pomimo tego wytrzymałość tego drewna jest wyższa. Z dużym prawdopodobieństwem o uzyskanym układzie wyników zdecydowało drewno reakcyjne. Trzeba też zaznaczyć, że stwierdzone różnice między stroną wschodnią i zachodnią były statystycznie istotne. W strefie silnych obciążeń wiatrowych (A) wytrzymałość drewna istotnie różniła się na dwóch poziomach, w strefie obciążeń przeciętnych (B) na jednym. W strefie słabych obciążeń wiatrowych (C) istotnych różnic nie stwierdzono. Bardziej wytrzymałe drewno po stronie pnia poddawanej silnym naprężeniom ściskającym stawia większy opór, co powinno tym samym wpłynąć na całkowitą zdolność drzewa do przeciwstawiania się naporowi wiatru.

Jak twierdzi Ennos (1997), wiatr jest zasadniczym czynnikiem w środowisku, który fizycznie oddziałuje na wzrost i rozwój drzew. Pod jego wpływem zmienia się pokrój drzewa. Korony drzew w skrajnych przypadkach przyjmują formy chorągiewkowate, pnie są bardziej zbieżyste i eliptyczne na przekroju poprzecznym. Dlatego też cechy morfologiczne drzew są głównym przedmiotem badań i rozważań nad biomechaniką drzew. Według Lundströma i in. (2008) to właśnie rozmiary drzewa i odpowiednia alokacja biomasy, wynikająca z jego statusu socjalnego, siedliska, a także zwarcia drzewostanu decydują o krytycznej wartości, wyznaczającej w zróżnicowanych warunkach granicę odporności na obciążenia. Poziom stresu i jego skutki powiązane ze stopniem ekspozycji korony drzewa na oddziaływanie wiatru, w zwartym drzewostanie wskazywać mogą na bezpośredni związek z pozycją biosocjalną. Drzewa niższych klas są w mniejszym stopniu narażone na działanie wiatru, ponieważ są one osłonięte przez sąsiadujące z nimi drzewa wyższe, o bardziej rozbudowanych koronach. Podobnie w drzewostanie, drzewa rosnące w głębi drzewostanu są mniej obciążane przez wiatr, ponieważ osłaniane są przez okrajek i kolejne szeregi drzew. Wiatr oddziałujący na drzewa rosnące w większej odległości od brzegu nie ma już takiej prędkości i siły jak na początku. W zwartym drzewostanie na jego napór narażona będzie górna część korony, ponieważ dolna osłonięta jest przez drzewa sąsiednie. Amplituda oraz okres drgań tych drzew będą więc mniejsze, co oznacza, że ich pnie

poddawane będą mniejszym naprężeniom. W tej sytuacji zróżnicowanie drewna będzie wyrazem zdolności adaptacyjnych, czyli objawem dążenia organizmu do wykształcenia biostruktury funkcjonalnej fizjologicznie i mechanicznie oraz symptomem świadczącym o występowaniu mechanizmu przystosowawczego, który tworzy stan równowagi oraz stabilizuje zakłócenia powstające w określonych warunkach wzrostu i rozwoju drzew.

Wnioski

1. Ekspozycja drzewa w drzewostanie na oddziaływanie wiatru, określona na podstawie odległości od skraju drzewostanu, okazała się czynnikiem niemającym istotnego wpływu na wytrzymałości drewna na ściskanie wzdłuż włókien. Przeciętna wytrzymałość co prawda była niższa u drzew z wnętrza drzewostanu, stwierdzone różnice nie były jednak statystycznie istotne.
2. Po stronie zawietrznej wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż włókien była statystycznie istotnie wyższa od wytrzymałości drewna po stronie nawietrznej. W strefie silnych obciążeń wiatrowych (A) wytrzymałość drewna istotnie różniła się na dwóch poziomach, w strefie obciążeń przeciętnych (B) na jednym. W strefie słabych obciążeń wiatrowych (C) istotnych różnic nie stwierdzono. Bardziej wytrzymałe drewno po stronie pnia poddawanej silnym naprężeniom ściskającym stawia większy opór, co powinno tym samym wpłynąć na całkowitą zdolność drzewa do przeciwstawiania się naporowi wiatru.

Literatura

- Atlas Klimatu Polski. 2005. Lorenc H. (red.) IMGIW, Warszawa.
- 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.
- Ennos A.R. 1997. Wind as an ecological factor. *Trends in Ecology & Evolution*, 12(3): 108–111.
- Irvine M. R., Gardiner B. A., Hill M. K. 1997. The evolution of turbulence across a forest edge. *Boundary – Layer Meteorology*, 84: 467–496.
- Jakubowski M., Pazdrowski W. 2006. The bending static strength of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood comes from the trees damaged by the wind. *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.*, 58: 362–366.
- Jakubowski M., Pazdrowski W., Jelonek T., Szaban J., Tomczak A., Pagórska M. 2007. The compressive strength along fibers of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood comes from the trees broken by the wind. *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.*, 61: 270–271.
- Kärenlampi P.P., Riekkinen M. 2004. Maturity and growth rate effects on Scots pine basic density. *Wood Sci. Technol.* 38: 465–473.
- 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*, R.14. Zeszyt 1(30): 147–156.
- Lundström T., Jonas T., Volkwein A. 2008. Analysing the mechanical performance and growth adaptation of Norway spruce using non-linear finite-element model and experimental data. *J. Exp. Bot.*, 59(9): 2513–2528.

- Meyer F. D., Paulsen J., Körner Ch. 2008. Windthrow damage in *Picea abies* is associated with physical and chemical stem wood properties. *Trees*, 22: 463–473.
- PN-77/D-04101. 1977. Drewno. Oznaczanie gęstości.
- PN-79/D-04102. 1979. Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien.
- 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, Wrocław.
- Tomczak A., Jelonek T. 2012. Parametry techniczne młodocianego i dojrzałego drewna sosny zwyczajnej. *Sylvan*, 156(9): 695–702.
- Tomczak A., Jelonek T., Jakubowski M. 2011a. Modulus of elasticity of twin samples (wet and absolute dry) origin from Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees broken by wind. *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.*, 76: 149–153.
- Tomczak A., Jelonek T., Jakubowski M. 2011b. Wood density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees broken by wind. *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.*, 76: 144–148.
- 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*, Tom 103: 41–46.
- Tomczak A., Jelonek T., Zoń L. 2010. Porównanie wybranych właściwości fizycznych drewna młodocianego i dojrzałego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów rębnych. *Sylvan*, 154(12): 809–817.
- Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T. 2007. Distribution of intermediate and mature wood on the longitudinal cross section of the tree trunk and selected biometric traits of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Baltic Forestry*, 13(1): 116–125.
- Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T., Grzywiński W. 2009a. Jakość drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Część II. Naturalne warunki produkcji i ich rola w kształtowaniu jakości drewna. *Sylvan*, 153(7): 435–441.
- Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T., Grzywiński W. 2009b. Jakość drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Część III. Wpływ postępowania gospodarczego na jakość drewna. *Sylvan*, 153(8): 519–527.
- 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.

Tomasz Jelonek, Arkadiusz Tomczak, Witold Pazdrowski

Katedra Użytkowania Lasu

Wydział Leśny

tomasz.jelonek@up.poznan.pl

arkadiusz.tomczak@up.poznan.pl

witold.pazdrowski@up.poznan.pl

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu