

ARKADIUSZ TOMCZAK, TOMASZ JELONEK, MARCIN JAKUBOWSKI

Gęstość drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) jako wskaźnik odporności drzewa na działanie silnych wiatrów

Density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood as an indicator of tree resistance to strong winds

ABSTRACT

Tomczak A., Jelonek T., Jakubowski M. 2013. Gęstość drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) jako wskaźnik odporności drzewa na działanie silnych wiatrów. Sylwan 157 (7): 539-545.

We assumed that wood of trees undamaged by wind will be characterized by higher basic density than wood of damaged specimens. It was stated that wood of windthrow had lower basic density, but differences were not statistically significant. Two parts of wood: (compressed and tensioned zones) were analyzed separately. Higher density was found in tensioned zone of windthrow and in compressed zone in control trees. Similar results were obtained in samples of extreme.

KEY WORDS

Scots pine, windthrow, basic wood density

ADDRESSES

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

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

Marcin Jakubowski – e-mail: marcin.jakubowski@up.poznan.pl

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

Wstęp

Gęstość jest podstawowym wskaźnikiem wartości technicznej drewna, który koreluje z innymi właściwościami fizycznymi i mechanicznymi. Jest pochodną struktury drewna, dlatego wykorzystuje się ją w analizach związków występujących między tkanką drzewną a warunkami wzrostu i rozwoju drzewa.

W literaturze przedmiotu wiele miejsca poświęca się zagadnieniom związanym z wpływem wiatru na morfologię i mechanikę pnia [Peltola i in. 1999; England i in. 2000; Schindler 2008]. Część prac opiera się o badania eksperymentalne, w których podejmowane są próby zainicjowania uszkodzeń lub reakcji kambium [Telewski, Jaffe 1986; Peltola i in. 2000]. Szczegółowo analizowane są szkody wywołane przez wiatr [Giefing 1995; Donoghue i in. 2006]. W różny sposób ocenia się potencjalne zagrożenie od wiatru i wyraża je mierzalną wartością [Valinger i in. 1997; Jalkanen, Mattila 2000; Talkkari i in. 2000; Bruchwald, Dmyterko 2010, 2011]. Badania relacji drewno – wiatr prowadzone były między innymi przez Camerona i Dunhama [1999] oraz Meyera i in. [2008]. Cameron i Dunham [1999] stwierdzili, że drewno wiatrołomów sosny zwyczajnej cechowało się w porównaniu do drewna drzew nieuszkodzonych zbliżoną wytrzymałością na zginanie statyczne, ale zdecydowanie niższą wartością współczynnika sprężystości.

Podobny wynik dla modułu sprężystości otrzymali Tomczak i in. [2011a]. Według Jakubowskiego i in. [2007] stopień degradacji drewna uzależniony jest od odległości między złomem a miejscem badań. Jakubowski i Pazdrowski [2006] stwierdzili, że wytrzymałość drewna sosny na zginanie statyczne w sekcjach położonych blisko złomu była niższa i wykazywała duże wahania wartości. Zjawisko to jest prawdopodobnie efektem występowania w drewnie mikrouszkodzeń (pęknięć i zgnieceń), powstających w następstwie silnych naprężeń ściskających [Arnold, Steiger 2006]. Drewno jest w stanie przeciwdziałać odkształceniom tylko do pewnej wartości krytycznej. Pień drzewa ulega złamaniu najczęściej w chwili, gdy całkowity moment zginający jest wyższy od maksymalnego momentu wytrzymałości drewna [Zajączkowski 1991]. Przyjmując więc można, że przy niskiej gęstości i wytrzymałości drewna prawdopodobieństwo uszkodzenia wzrośnie i odwrotnie.

Celem pracy była weryfikacja założenia, że drewno drzew nieuszkodzonych charakteryzować się będzie wyższą gęstością umowną niż drewno drzew uszkodzonych przez wiatr (złomów).

Material i metody

Badania zostały przeprowadzone na materiale zebrany w drzewostanach sosnowych III i IV klasy wieku w nadleśnictwach Bytów, Świdwin (RDLP Szczecinek), Kolbudy (RDLP Gdańsk), Opoczno (RDLP Łódź), Przysucha (RDLP Radom) oraz LZD w Siemianicach. Powierzchnie dobrano tak, aby szkody od wiatru obejmowały nie więcej niż 30% drzew w drzewostanie. Założenie to umożliwiło pomiar i wybór drzew rzeczywiście uszkodzonych przez wiatr, a nieuszkodzonych przez przemieszczanie się innych drzew.

Na każdej powierzchni ponumerowano kolejno wszystkie drzewa uszkodzone oraz proporcjonalną liczbę bezpośrednio z nimi sąsiadujących drzew nieuszkodzonych. Następnie pomierzono ich cechy biometryczne. W przypadku złomów była to pierśnica i wysokość złomu, długość leżącej części drzewa, długość oraz szerokość korony. Na drzewach stojących pomierzono pierśnicę, wysokość drzewa, wysokość położenia pierwszej żywej gałęzi oraz minimalną i maksymalną średnicę korony. Pierśnicę zmierzono średnicomierzem z dokładnością do 0,5 cm, natomiast pozostałe cechy dalmierzami laserowymi Nikon Forestry 550 oraz Bosch DLE 40 z dokładnością do 0,1 m.

Na podstawie uzyskanych danych, dla każdej powierzchni opracowano model złomu i drzewa nieuszkodzonego o przeciętnych cechach biometrycznych. Następnie wybrane złomy i drzewa stojące zostały ścięte. Łącznie wyselekcjonowanych zostało 18 drzew nieuszkodzonych (K) oraz 44 złomy (Z) (tab. 1).

Z pnia każdego drzewa modelowego pobrano próbę wzdłuż średnicy równoległej do kierunku złomu. Pierwsza próbka (20×20×30 mm) położona była w odległości 1 cm od rdzenia. Kolejne próbki położone były obok siebie wzdłuż promienia. Liczba próbek na każdym analizowanym promieniu wahała się od 3 do 9. Gęstość umowną oznaczono według wytycznych zawartych w normie PN-77/D-4101.

Na podstawie uzyskanych danych obliczono średnią gęstość umowną drewna drzew złamanych i nieuszkodzonych wraz z odchyleniem standardowym oraz współczynnikiem zmienności. Analogiczna charakterystyka statystyczna została opracowana dla prób położonych po rozciąganej oraz ściskanej stronie przekroju poprzecznego pnia. Umowny punkt graniczny stanowił rdzeń. W kolejnym etapie wyselekcjonowano próby skrajne, czyli wartości gęstości umownej dla próbek położonych najbliżej obwodu pnia (najsilniej obciążanych). Na tym etapie również otrzymano zbiór ogólny, z którego wyodrębniono po dwa podzbiory, dla których opracowano podstawową charakterystykę statystyczną. Po zweryfikowaniu i odrzuceniu założenia o normalności rozkładu

Tabela 1.

Średnia (m) i odchylenie standardowe (sd) wybranych cech biometrycznych drzew nieuszkodzonych (K) i uszkodzonych (Z) przez wiatr

Mean (m) and standard deviation (sd) of selected biometric parameters of trees undamaged (K) and damaged (Z) by the wind

Lokalizacja	Próba	n	Pierśnica [cm]		Wysokość [m]		Długość korony [m]		Smukłość	
			m	sd	m	sd	m	sd	m	sd
Kolbudy	K	3	26	6,2	21,7	1,6	5,7	0,9	88	17
	Z	6	28	7,3	21,7	2,2	7,8	2,0	80	16
Świdwin	K	3	22	5,0	19,7	0,4	6,2	1,2	94	21
	Z	9	21	3,4	20,0	1,9	6,3	0,9	97	10
Przysucha	K	2	21	1,4	19,6	3,7	4,5	0,7	93	11
	Z	6	22	4,2	20,9	3,8	6,5	0,9	95	20
Opoczno	K	3	22	2,5	20,1	1,5	6,4	1,1	90	5
	Z	8	26	4,9	20,8	1,3	7,2	1,6	83	14
Bytów	K	3	31	9,5	24,7	3,1	6,2	1,1	82	15
	Z	9	31	8,6	22,9	5,8	5,1	1,2	76	20
Siemianice	K	3	26	5,0	22,6	1,1	4,5	0,8	88	15
	Z	6	27	5,1	20,5	3,0	5,9	1,3	78	19
Ogółem	K	18	25	6,1	21,5	2,5	5,6	1,1	89	14
	Z	44	26	6,7	21,1	3,4	6,4	1,5	85	18

danych przeprowadzono test U Manna-Whitneya. Wszystkie analizy statystyczne wykonano przy pomocy pakietu Statistica 9.0. W celu porównania otrzymanych wartości dla poszczególnych lokalizacji zastosowano współczynnik $Q=(K/Z)-1$, gdzie wartość K to gęstość umowna drewna drzew nieuszkodzonych, wartość Z to gęstość drewna złomów. Analogiczny współczynnik (Q_e) obliczono dla prób skrajnych. Wartość dodatnia tego współczynnika wskazuje na wyższą gęstość umowną drewna drzew nieuszkodzonych.

Wyniki

Średnia gęstość umowna drewna drzew nieuszkodzonych przez wiatr była o 6 kg/m^3 (1,4%) wyższa niż gęstość drewna złomów. Analogicznie, wyższą gęstością w strefie ściskanej charakteryzowało się drewno K. Różnica wyniosła w tym przypadku 20 kg/m^3 (4,8%). Natomiast w strefie rozciąganej gęstość drewna K była niższa od gęstości drewna Z o 7 kg/m^3 (1,6%). Stwierdzone różnice nie były istotne statystycznie (tab. 2). W strefie przyobowdowej wyższą gęstością umowną charakteryzowało się drewno K. Podobnie w strefach rozciąganej i ściskanej. Różnice wynosiły odpowiednio 16, 3 i 30 kg/m^3 i nie były istotne statystycznie (tab. 2). W ujęciu bezwzględny dysproporcje kształtowały się na poziomie 3,5%. W przypadku drewna ze strefy rozciąganej było to 0,6%, a w odniesieniu do drewna ze strefy ściskanej – 6,6%.

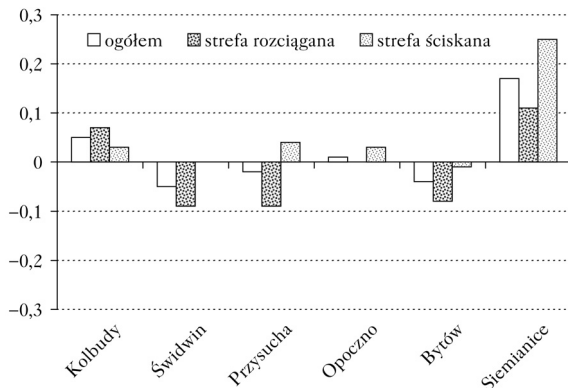
Dodatnią wartość współczynnika Q zaobserwowano na trzech z sześciu lokalizacji, przy czym najmniejszą wartość stwierdzono dla Opoczno (0,01), a największą w przypadku Siemianice (0,17). W przypadku strefy rozciąganej dodatnie wartości uzyskano dla lokalizacji Kolbudy oraz Siemianice, ujemne dla powierzchni Świdwin, Przysucha oraz Bytów. Opoczno charakteryzowała zerowa wartość współczynnika. Współczynniki opisujące strefę ściskaną w czterech przypadkach miały wartość dodatnią (Kolbudy, Przysucha, Opoczno, Siemianice), w jednym zerową (Świdwin) i w jednym ujemną (Bytów) (ryc. 1). Dodatnią wartość współczynnika Q_e stwierdzono na powierzchniach Kolbudy, Opoczno, Siemianice, w strefie rozciąganej – na powierzchniach Kolbudy i Siemianice, a w strefie ściskanej – na powierzchniach Kolbudy, Świdwin,

Tabela 2.

Gęstość umowna drewna drzew nieuszkodzonych (K) i uszkodzonych (Z) przez wiatr
Basic density of wood of trees undamaged (K) and damaged (Z) by the wind

Próba	Średnia [kg/m ³]	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]	n	p w teście U Manna-Whitneya
Strefa rozciągania					
K	421	76	18,1	77	0,5339
Z	428	68	15,9	184	
K _c	476	90	18,6	18	0,8161
Z _c	473	65	13,7	44	
Strefa ściskania					
K	440	89	20,2	70	0,1586
Z	420	65	15,5	176	
K _c	482	98	20,3	18	0,2798
Z _c	452	58	13,2	42	
Ogółem					
K	430	83	19,3	147	0,5697
Z	424	67	15,8	360	
K _c	479	93	7,8	36	0,5443
Z _c	463	62	19,3	86	

K_c, Z_c – próby skrajne; extreme samples



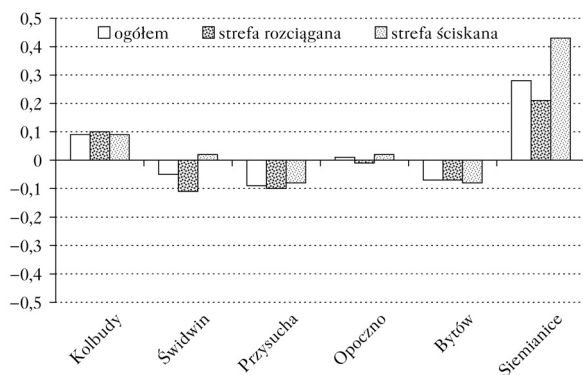
Ryc. 1.

Wartości współczynnika Q dla poszczególnych powierzchni badawczych
Q indicator values for analysed research areas

Opoczno, Siemianice. Analogicznie jak w przypadku współczynnika Q, najniższą dodatnią wartość Q_e stwierdzono w Opocznie (0,01), a najwyższą w Siemianicach (0,28). Najniższym ujemnym Q_e charakteryzowało się drewno z Przysuchy (ryc. 2).

Dyskusja

Odporność drzewa na działanie wiatru silnie związana jest z ekspozycją i strukturą drzewostanu [Zajączkowski 1991; Stathers i in. 1994; Gil, Zachara 2006]. Na krytyczną wartość momentu gnącego wpływ ma także masa pnia i korony drzewa, aerodynamiczne cechy korony oraz opór wynikający ze sprężystości strzały [Petty, Swain 1985; Peltola, Kellomäki 1993; Ancelin i in. 2004; Nishimura 2005; Peltola 2006]. Sprężystość to zdolność ciał do odzyskiwania pierwotnego kształtu i wymiarów po usunięciu sił zewnętrznych wywołujących zniekształcenie. Jeżeli odkształcenie przekroczy wartość graniczną, materiał ulega trwałej deformacji lub uszkodzeniu.



Ryc. 2.

Wartości współczynnika Q_e dla poszczególnych powierzchni badawczych
 Q_e indicator values for analysed research areas

Porównując gęstość umowną drewna sosen zwyczajnych uszkodzonych (złamanych) przez wiatr i drzew nieuszkodzonych, stwierdzono, że różnice były statystycznie nieistotne. Taki rezultat uzyskali także Cameron i Dunham [1999] oraz Tomczak in. [2011b]. W jednym i drugim badaniu niższą gęstością charakteryzowało się drewno złomów. Analizując oddzielnie strefę rozciąganą i ściskaną, stwierdzono, że wyższą gęstością charakteryzowała się strefa rozciągana u złomów i ściskana w przypadku drzew nieuszkodzonych. Podobne wyniki otrzymano dla prób skrajnych. Wytrzymałość drewna na rozciąganie jest zdecydowanie wyższa od wytrzymałości drewna na ściskanie. W stanie mokrym (powyżej punktu nasycenia włókien) różnica ta jest niemal czterokrotna [Raczkowski i in. 1995]. Niszczące naprężenia ściskające będą więc nieporównywalnie niższe od niszczących naprężeń rozciągających. A na ich wielkość wpływ będzie miała także gęstość, która silnie koreluje z wytrzymałością drewna na ściskanie i rozciąganie wzdłuż włókien.

Brak statystycznie istotnych różnic w gęstości między drewnem złomów i drzew nieuszkodzonych tłumaczyć można dużą zmiennością gęstości na powierzchniach badawczych. Dodatnią wartość współczynnika Q , wskazującą na wyższą gęstość drewna drzew kontrolnych, zaobserwowano zaledwie na połowie z nich i to zarówno w ujęciu ogólnym (przeciętnym dla przekroju), jak i dla prób skrajnych. Bardziej zróżnicowane wyniki otrzymano, analizując oddzielnie strefę rozciąganą oraz ściskaną. W tym wypadku kluczowa dla wytrzymałości pnia wydaje się gęstość drewna po stronie włókien ściskanych. Stwierdzono bowiem, że współczynnik Q był wyższy w tej strefie na pięciu powierzchniach, a Q_e na czterech.

Rozbieżności pomiędzy poszczególnymi powierzchniami to prawdopodobnie efekt niejednorodności drewna, która u sosny zwyczajnej jest bardzo duża. Często w ramach populacji różnice są większe niż pomiędzy populacjami. I to może w pewnym stopniu decydować o przetrwaniu drzewa, podczas gdy w jego sąsiedztwie inne ulegają uszkodzeniu (złamaniu).

Wnioski

- ✦ Wyższą gęstością umowną charakteryzowało się drewno drzew nieuszkodzonych przez wiatr, przy czym stwierdzone różnice nie były istotne statystycznie.
- ✦ W przypadku drzew uszkodzonych przez wiatr wyższą gęstością umowną charakteryzowała się nawietrzna (rozciągana) strona pnia, natomiast w przypadku drzew nieuszkodzonych strona zawietrzna (ściskana).

Podziękowania

Praca powstała na podstawie wyników uzyskanych w ramach projektu „Biomechanika i cechy biometryczne drzewa w modelowaniu i prognozowaniu uszkodzeń sosny zwyczajnej (*Pinus*

sylvestris L.) powstałych wskutek działania silnych wiatrów” finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (IP2010 015270).

Literatura

- Ancelet P., Courbaud B., Fourcaud T. 2004. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. *For. Ecol. Manage.* 203: 101-112.
- Arnold M., Steiger R. 2006. The influence of wind-induced compression failures on the mechanical properties of spruce structural timber. *Material and Structures* 40: 57-68.
- 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. *Sylvan* 155 (7): 459-471.
- Cameron A. D., Dunham R. A. 1999. Strength properties of wind- and snow - damaged stems of *Picea sitchensis* and *Pinus sylvestris* in comparison with undamaged trees. *Can. J. For. Res.* 29 (5): 595-599.
- Donoghue D. N. M., McManus K. B., Dunford R. W., Watt P. J. 2006. European windstorm and the role of remote sensing in helping to assess damage to forestry. 4th International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response Sept 25-26, Cripps Court, Magdalene College, Cambridge.
- England A. H., Baker C. J., Saunderson S. E. T. 2000. A dynamic analysis of windthrow of trees. *Forestry* 73 (3): 225-237.
- Giefing D. F. 1995. Usuwanie skutków klęski huraganu w lasach Niemiec w 1990 roku. *Sylvan* 139 (7): 60-61.
- Gil W., Zachara T. 2006. Analiza szkód od wiatru w wybranych drzewostanach świerkowych i sosnowych. *Leśne Prace Badawcze* 4: 77-99.
- 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.
- Jalkanen A., Mattila U. 2000. Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on National Forest Inventory data. *For. Ecol. Manage.* 135: 315-330.
- 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.
- Nishimura T. B. 2005. Tree characteristics related to stem breakage of *Picea glehnii* and *Abies sachalinensis*. *For. Ecol. Manage.* 215: 295-306.
- Peltola H. M. 2006. Mechanical stability of trees under static loads. *Am. J. Bot.* 93 (10): 1501-1511.
- 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.
- 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. Manage.* 135: 143-153.
- Peltola H., Kellomäki S., Väisänen H., Ikonen V. P. 1999. A mechanistic model of 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 (6): 647-660.
- Petty J. A., Swain C. 1985. Factors influencing stem breakage of conifers in high wind. *Forestry* 58 (1): 75-83.
- Raczkowski J., Jakubów S., Majchrzak A. 1995. Zależność między wytrzymałością drewna na rozciąganie i ściskanie wzdłuż włókien. Wpływ wilgotności. *Folia Forestalia Polonica, Seria B* 26: 151-159.
- Schindler D. 2008. Responses of Scots pine trees to dynamic wind loading. *Agricult. For. Meteorol.* 148: 1733-1742.
- Stathers R. J., Rollerson T. P., Mitchell S. J. 1994. *Windthrow Handbook for British Columbia Forests*. B.C. Min. For., Victoria, B.C. Working Paper 9401.
- Tälkkari A., Peltola H., Kellomäki S., Strandman 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. Manage.* 135: 303-313.
- Telewski F. W., Jaffe M. J. 1986. Thigmomorphogenesis: Anatomical, morphological and mechanical analysis of genetically different sibs of *Pinus tadea* in response to mechanical perturbation. *Plant Physiol.* 66: 219-226.
- 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.
- Valinger E., Fridman J. 1997. Modeling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. *For. Ecol. Manage.* 97: 215-222.
- Zajaczkowski J. 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wydawnictwo Świat. Warszawa.

SUMMARYDensity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood as an indicator of tree resistance to strong winds

Wood is able to counteract the distortion only to a certain critical value. Trunk of the tree is breaking most of the time when the total bending moment is higher than maximum strength moment of the tree. So, it is possible that, a low wood density and strength increase the probability of damage. We assumed that wood of trees undamaged by wind will be characterized by higher basic density than wood of damaged (wind-broken) trees. It was stated that wood of windthrow had lower basic density, but differences were not statistically significant. Two parts of the trunk (compressed and tensioned zones) were analysed separately. Higher density was found in tensioned zone of windthrow and in compressed zone in control trees (tab. 2). Similar results were obtained in samples of extreme. The lack of statistically significant differences of density between windthrow and undamaged trees can be explained by high variability of density in research area. A positive value of coefficient Q (indicator of higher density of undamaged trees) was observed only on half of all areas, both in general (the average for the cross-section) and for the extreme test. More diverse results were obtained by analyzing separately compressed and tensioned zones. In this case wood density on the side of compressed fibers seems to be essential to the strength of the trunk. It was noted that the coefficient Q was higher in tensioned zone on five areas while Q_e on four of them.