

## WYTRZYMALOSC DREWNA BRZOWEGO.

**Summary:** This is the record of a debate about the resistance that a wood trunk can offer. Two shearing modes are discussed: Basic shear (one side of a beam) and two-blade shear (opposite and equal load on each side of the beam). It was concluded that in the event being discussed the first mode prevailed.

Ponizszy tekst to dyskusja miedzy autorem tego artykulu (GS) a blogerem o pseudonimie Adverbium. Dyskusja zaczela sie pytaniem ze strony Adverbium dotyczacym tematu zniszczenia brzozy i potem rozwijala sie nastepujaco:

**GS:** Brzoza czy nie, kazdy element konstrukcyjny poddany niszczeniu przechodzi przez ten proces wg bardzo prostej zasady: Najmniejszej pracy. Tzn lamie sie w najlatwiejszy mozliwy sposob.

Z drewnem mamy klopot specjalny. Jest bowiem cos takiego jak "nozycowa" wytrzymalosc na scinanie. Pozorne scinanie, bo to naprawde jest zgniatanie poprzeczne wlokien przez przeciwlegle ostrza. Mowi sie czasem o wytrzymalosci powyzej 30 MPa, tzn takiej jak czesto uzywanego betonu. Dlaczego drewno mialo by w ten sposob sie rozpadac? Nie ma latwiejszego sposobu?

Pien uderzony poprzecznie i to szybko bedzie mial ten uderzony segment najczesciej urwany przez scinanie. Naprezenie scinajace w przekroju poprzecznym bedzie takze w przekroju podluznym. (Rownowaga, obowiazuje dla kazdego materialu.) A wiec wytrzymalosc na scinanie wzdluz wlokien zdecyduje. Z kilku mozliwych skladowych wytrzymalosci wybrana jest taka (lub kombinacja), gdzie opor pnia jest najmniejszy.

Zlom podejrzanej brzozy ma w sobie dlugie drzazgi. Studium dzielenia sie pnia na wlokna bylo by dosc skomplikowane. Wydaje sie jednak, ze brak czystego sciecia sugeruje duzo mniejsza predkosc uderzenia niz 75 m/s.

Rozne zrodla podaja rozne wartosci wytrzymalosci na scinanie wzdluz wlokien. Biorac wszystko pod uwage, 5 MPa zupełnie wystarczy. Uzywanie wartosci skrajnych prowadzi na ogol do absurdow. (Zawsze w takiej analizie, bo zawsze jest rozrzut wartosci.)

Seki maja jeszcze wiekszy wplyw oslabiajacy w dynamice niz to sie okazuje w badaniach statycznych.

GS, 11/13

**ADVERBUM:** Powyzszy opis jest prawdziwy dla procesu prowadzacego do uszkodzen struktury drewna, ale nie jest odpowiedni dla procesu, w ktorym dochodzi do zniszczenia ciaglosci wlokien drewna. Sytuacje

w której dochodzi do zerwania dużej ilości włókien drewna "large number of primary bonds must be broken" wspomniano w pracy [1], o czym piszę poniżej.

W zakresie opisanym w literaturze zajmującej się konstrukcjami drewnianymi w budownictwie, drewno nie ulega przełamaniu, tylko rozwarstwieniu w płaszczyźnie równoległej do włókien. Dochodzi do uszkodzenia elementu konstrukcyjnego\*, ale nie dochodzi do zniszczenia struktury drewna. Nie dochodzi do przecięcia włókien w płaszczyźnie przyłożenia siły ścinającej (czyli prostopadle do przebiegu włókien).

\* W problematyce wykorzystania drewna jako materiału konstrukcyjnego, rozwarstwienie wzdłuż włókien jest już na tyle istotnym uszkodzeniem, że nie bada się destrukcji dalej, czyli nie dochodzi się do etapu przecinania włókien. Jest to opisane w literaturze i widoczne na rysunkach:

[1] Solid Mechanics - Shear Stress in Beams, Chapter 6, page 4 (załączam rysunek)  
<http://www.mae.ncsu.edu/jiang/courses/mae314/XJ-314-Chapt6a.pdf>

[2] Types of Stresses to be Considered in the Design of Trusses - Vertical shear (załączam rysunek)  
<http://www.rltruss.com/trussededucation.html>

W sytuacji kolizji skrzydła Tupolewa z drzewem nie mamy jednak do czynienia z uszkodzeniem, ale z kompletną destrukcją, przecięciem struktury włókien drewna na większej części przekroju pnia. Zatem należy zastosować wytrzymałość drewna na ścinanie w płaszczyźnie prostopadłej do przebiegu włókien, czyli Shear  $\perp$

Sytuację taką opisano w pracy [3]:

"Shear  $\perp$  occurs in the tangential - radial plane (TR) and, because a large number of primary bonds must be broken for its initiation, Shear strength  $\perp$  is very high ( $\sim 30$  MPa). However, Sh strength  $\perp$  occurs seldomly, as other modes of failure tend to supersede it. Therefore, shear  $\perp$  is generally not a concern for design."

Jak napisali autorzy [3] projektowanie w budownictwie nie zajmuje się generalnie ścinaniem  $\perp$ , bo drewno konstrukcyjne ulegnie wcześniej uszkodzeniu w płaszczyźnie wzdłużnej belki. Jednak w przypadku zderzenia skrzydła Tupolewa z brzozą mamy do czynienia zniszczeniem struktury drewna, a dokładniej zachodzi przypadek opisany w pracy [1]: "large number of primary bonds must be broken" - zerwanie dużej ilości włókien drewna.

[3] "Effect of grain angle on shear strength of Douglas-fir wood", Rakesh Gupta and Arijit Sinha, Department of Wood Science and Engineering Oregon State University

"Złom tej podejrzanej brzozy ma w sobie długie drzazgi. Studium dzielenia się pnia na włókna było by dość skomplikowane. Wydaje się jednak, że brak czystego ściecia sugeruje dużo mniejszą prędkość uderzenia niż 75 m/s."

W kolizji skrzydła Tupolewa z brzożą mamy do czynienia z procesem dynamicznym o charakterze udarowym. Doszło w nim do przecięcia struktury włókien drzewa w większej części jego przekroju poprzecznego. Na pozostałej części przekroju doszło do rozwarstwienia struktury wzdłuż włókien i powstania drzazg. Ilustracje przedstawiające zachowanie drewna pod wpływem

dynamicznego niszczenia o charakterze udarowym są pokazane w pracy [4]. Wyraźnie widać, że dochodzi do przecięcia (zerwania ciągłości) włókien drewna w płaszczyźnie prostopadłej do ich przebiegu, a nie tylko do rozwarstwienia w płaszczyźnie równoległej do włókien. Przełom nie jest gładki i wyraźnie widoczne są drzazgi.

[4] Wood Impact Bending Strength Laboratory Tests, Antonin Lokaj, Kristýna Vavrušová

<http://www.degruyter.com/view/j/tvsb.2010.x.issue-1/v10160-010-0003-6/v10160-010-0003-6.xml>

*"Rozne zrodla podaja rozne wartosci wytrzymałości na scinanie wzdluz wlokien. Biorac wszystko pod uwage, 5 MPa zupełnie wystarczy."*

Wystarczy, ale do rozwarstwienia struktury drewna wzdłuż włókien\*, nie wystarczy do przecięcia włókien w płaszczyźnie prostopadłej do ich przebiegu.

\* W problematyce wykorzystania drewna jako materiału konstrukcyjnego, rozwarstwienie wzdłuż włókien jest już na tyle istotnym uszkodzeniem, że nie bada się destrukcji dalej, czyli nie dochodzi się do etapu przecinania włókien. W przypadku zniszczenia struktury brzozy w zderzeniu ze skrzydłem Tupolewa nie można tego pominąć.

Zatem należy skorzystać z wytrzymałości na ścinanie w płaszczyźnie prostopadłej do włókien. Poniżej zamieszczam informacje na temat wartości wytrzymałości na ścinanie w płaszczyźnie prostopadłej do włókien drewna, parametr ten jest oznaczany w literaturze jako  $S_{\perp}$ :

1. "Shear  $\perp$  occurs in the tangential-radial plane (TR) and, because a large number of primary bonds must be broken for its initiation, Shear strength  $\perp$  is very high (~ 30 MPa)."

Źródło: *Effect of grain angle on shear strength of Douglas-fir wood, Rakesh Gupta and Arijit Sinha, Department of Wood Science and Engineering Oregon State University*

2. "it is assumed that the shear strength perpendicular to the grain is 140 percent of the shear strength measured parallel to the grain."

Źródło: *Manual for LS-DYNA Wood material model 143, page 23, Table 6.*

3. "Shear RT ( $S_{\perp}$ ) vs Shear LT ( $S_{||}$ ) is as 9,0 to 5,4" wartości dla Douglas fir"

Źródła:

*Manual for LS-DYNA Wood material model 143, Table 5*

*"Orthotropic Strength of Wood in Compression" Goodman, James R., and Jozsef Bodig, Wood Science, Vol. 4, No. 2, October 1971, pp. 83–94, figure 6, p. 89; figure 9, p. 92*

4. "Limited data indicate that the shear strength perpendicular to grain is of the order 2,5 - 3 times the shear strength parallel to grain."

Źródło: *Concise Encyclopedia of Building and Construction Materials, F. Moavenzadeh, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, page 646*

5. "Birch - shearing strength across the grain - 5,595 lbs. per sq. inch" czyli 38,6 MPa

Źródło: *The Mechanical Properties of Wood, Samuel J. Record, Yale University, Table VIII "Shearing strength across the grain of various american woods"*

-----

6. Wytrzymałość drewna brzozy brodawkowatej na ścinanie wzdłuż włókien: 12-14,5 MPa (wartość średnia - 13,25 MPa). Zgodnie z polską normą PN-D-04105:1979P dla drewna wyznacza się wytrzymałość na ścinanie wzdłuż włókien.

Źródło: Instytut Technologii Drewna - baza danych – użytkowe gatunki drewna, doc. dr inż. Stanisław Spława-Neyman, <http://www.itd.poznan.pl/pl/index.php?id=37>

-----

Przybliżona wytrzymałość na ścianie S<sub>L</sub> dla drewna\* brzozy wynosi, w zależności od źródła:

- Ad. 1. ~ 30 MPa
- Ad. 2. ~ 18,6 MPa (wartość z punktu 6. x 1,4)
- Ad. 3. ~ 22,1 MPa (wartość z punktu 6. x 1,67)
- Ad. 4. ~ 36,4 MPa (wartość z punktu 6. x 2,75)
- Ad. 5. 38,6 MPa

\* wartości podano dla drewna suchego. Przelicznik dla drewna świeżego (green) brzozy żółtej wynosi 59% wytrzymałości drewna suchego (12% wilgotności).

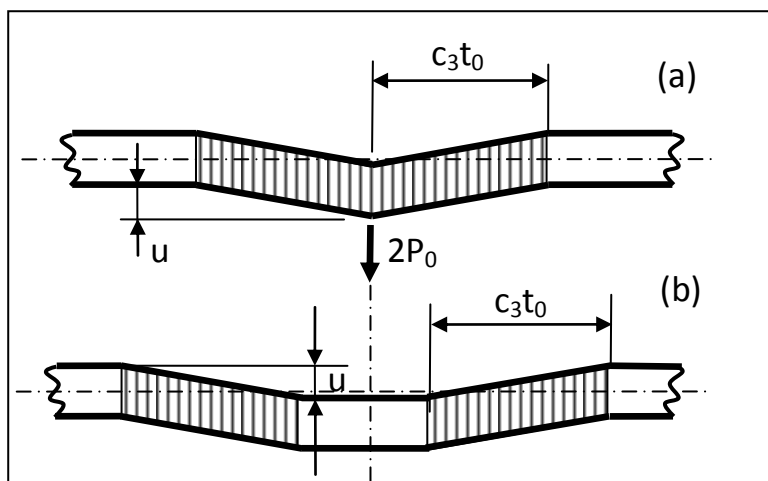
Źródło: Wood Handbook Wood as an Engineering Material, United States Department of Agriculture Forest Service, Table 5–3a. "Strength properties of some commercially important woods"

Estimated average of two-blade shearing, dry wood:  $0.6 \times 30 = 18 \text{ MPa}$  (GS)

-----

GS: Słusznie Pan zauważa, że natychmiast po ścięciu pnia w sposób podstawowy (ścinanie w poprzek i wzdłuż włókien) włókna się rozdzieliły, ale nie rozerwały.

W związku z tym sugeruje Pan, że musiał być pokonany dalej dużo większy opór w postaci ścinania 'nożycowego'. Przyjrzyjmy się więc bliżej temu co się działo.



Powyższy obrazek, zaczerpnięty z mojej książki nie jest dokładnie o tym, ale trochę nasz przebieg wypadków przypomina, zwłaszcza gdy się go obróci o kąt prosty. Na niższym z dwóch szkiców mamy w środku długości odcinek prosty. To niby jest ta część popychana przez skrzydło. Na zewnątrz tego na gorze i dole (drzewa) są odcinki, które podległy ścięciu. Środkowy segment drzewa jest trzymany tylko przez te odcinki. Ponieważ mówimy o bardzo krótkim czasie, pozostała prosta część drzewa, ta na zewnątrz, jest trzymana jeszcze w miejscu przez swą bezwładność.

Jak już powiedzieliśmy, zaraz po ścięciu włókna jeszcze istnieją i mogą się wzdłuż siebie przesuwac. Wtedy też zostaje uaktywniona poosiowa wytrzymałość włókien, bo to jest jedyny opór, jakim drzewo może trzymać ten środkowy, popychany segment. Z tym jest jednak kłopot. Włókna tworzą bardzo mały kąt z osią drzewa i ich siły rzutowane na linię popychania są na skutek tego niewielkie.

Wniosek: Jak tylko wstępne ścięcie zostanie dokonane, włókna nie mogą wiele utrzymać i wystarczy mały wzrost obciążenia zewnętrznego, by je zerwać.

Drugi wniosek: Scinanie nożycowe nie zostało uaktywnione, bo nie pasuje do kinematyki zjawiska.

I jeszcze jedna uwaga: To nie jest unikalna sytuacja, gdy coś, co wygląda na scinanie materiału jest w istocie rzeczy tylko zrywaniem.

GS, 11/13