

DREWNO: OZNACZANIE TWARDOŚCI ORAZ WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE I ŚCISKANIE

NORMY

PN-EN 338: Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości.

PN-EN 384: Drewno konstrukcyjne. Oznaczanie wartości charakterystycznych właściwości mechanicznych i gęstości.

PN-EN 408: Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych.

PN-EN 1534: Podłoga z drewna. Oznaczanie odporności na wgniecenie (metodą Brinella). Metoda badania.

PN-D-04103: Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie statyczne.

PN-D-04102: Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien.

Literatura uzupełniająca:

J. Kotwica, *Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym*, Wyd. Arkady, Warszawa 2004.

WSTĘP TEORETYCZNY

Drewno – substancja organiczna, z której zbudowane są rośliny drzewiaste (drzewa); jest to również surowiec otrzymywany ze ściętych drzew iglastych i liściastych, a następnie przetwarzany w różnego rodzaju wyroby, np. przeznaczone na cele budowlane.

Barwa drewna – właściwość zależna głównie od warunków klimatycznych, w jakich drzewo wzrastało; ulega ona zmianie pod wpływem wilgoci oraz światła; drewno pochodzące z drzew klimatu umiarkowanego może mieć zabarwienie:

- zbliżone do białego: jodła, świerk, grab, buk, klon, jawor, olcha, topola;
- żółte: brzoza, limba;
- brunatne: dąb, jesion, wiąz;
- odcienie czerwonego: cis, modrzew, sosna, wiśnia, śliwa;
- żółtozielona: akacja;
- szare lub zbliżone do czarnego: orzech.

Woda w drewnie – jest to główny składnik soku wypełniającego komórki drewna drzew; rozróżnia się:

- wodę wolną – wypełniającą cewki i naczynia komórek;
- wodę związaną – nasyca błonę komórkową;

- wodę konstytucyjną – wchodząca w skład związków chemicznych występujących w drewnie, nie można jej usunąć poprzez suszenie.

Wilgotność drewna – stosunek masy wody zawartej w drewnie do masy drewna absolutnie suchego, wyrażony w procentach; wilgotność świeżo ściętego drewna drzew iglastych wynosi 100 – 160%, zaś drewna z drzew liściastych 50 – 130%; Wytrzymałość drewna maleje ze wzrostem wilgotności.

Drewno w stanie całkowicie suchym – drewno, które po wysuszeniu w temperaturze $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, w 2 kolejnych ważeniach wykonanych w odstępie 2 godzin wykazuje różnicę masy nie większą niż:

- 0,01 g – przy oznaczaniu wilgotności drewna z dokładnością do 1,0 %,
- 0,001 g – przy oznaczaniu wilgotności drewna z dokładnością do 0,1 %

Pęcznienie – proces polegający na zwiększeniu wymiarów zewnętrznych oraz objętości drewna przez wchłanianie wody z otoczenia lub pary wodnej; pęcznienie w kierunku równoległym do układu włókien wynosi $0,1 \pm 0,8\%$, w kierunku stycznym $6 \pm 13\%$; zjawiskiem odwrotnym do pęcznienia jest kurczenie się drewna wskutek wysychania.

Izolacyjność termiczna – współczynnik λ zależy jest od rodzaju drewna, gęstości, kierunku przenikania ciepła w stosunku do układu włókien, wilgotności oraz temperatury; przykładowe wartości współczynnika podano w tabeli poniżej (wg PN-EN ISO 6946:1999).

| Lp. | Nazwa materiału | Gęstość w stanie suchym (średnia) kg/m^3 | Współczynnik przewodzenia ciepła, λ , $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ | | Ciepło właściwe w stanie suchym $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ |
|--|---|---|--|------------------|--|
| | | | warunki średniowilgotne | warunki wilgotne | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Drewno i materiały drewnopochodne | | | | | |
| 14 | Sosna i świerk – w poprzek włókien – wzdłuż włókien | 550 | 0,16 0,30 | 0,20 0,35 | 2,51 2,51 |
| 15 | Dąb – w poprzek włókien – wzdłuż włókien | 800 | 0,22 0,40 | 0,26 0,46 | 2,51 2,51 |
| 16 | Sklejka | 600 | 0,16 | 0,20 | 2,51 |
| 17 | Płyty pilśniowe porowate | 300 | 0,06 | 0,07 | 2,51 |
| 18 | Płyty pilśniowe twarde | 1 000 | 0,18 | 0,21 | 2,51 |

Wady drewna – nieprawidłowości budowy, uszkodzenia oraz inne naturalne cechy mające wpływ na właściwości użytkowe materiału; do wad drewna zaliczamy:

- wady kształtu pnia
- krzywizna pnia
- sęki
- pęknięcia
- sinizna

- zgnilizna twarda (wczesny etap rozwoju grzyba) lub miękka (dalszy etap rozwoju grzyba)

Twardość – opór jaki materiał stawia ciałom obcym wciskany w jego powierzchnię; powszechnie stosowaną metodą pomiaru twardości drewna jest metoda Janki, zaś norma PN-EN 1534 zaleca określenie twardości drewna metodą Brinella.

Wartości współczynników Brinella oraz twardości wg Janki dla wybranych gatunków drewna

| Gatunek drewna | Twardość wg Brinella HB | Twardość wg Janki [MPa] |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Sosna | 1,6 | 28 – 30 |
| Olcha | 2,1 | 43 |
| Brzoza | 2,6 | 48 |
| Klon europejski | 3,0 | 73 |
| Dąb europejski | 3,7 | 66 – 67 |
| Buk | 3,8 | 78 |
| Jesion | 4,0 | 74 – 76 |

Właściwości mechaniczne wybranych gatunków drewna

| Gatunek drewna | Gęstość objętościowa [kg/m ³] | Wytrzymałość na ściskanie [MPa] | | Wytrzymałość na rozciąganie [MPa] | | Wytrzymałość na zginanie [MPa] |
|----------------|---|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| | | wzdłuż włókien | w poprzek włókien | wzdłuż włókien | w poprzek włókien | |
| Akacja | 770 | - | - | - | - | 120 |
| Brzoza | 650 | - | - | - | - | 125 |
| Buk | 730 | 53 | 9 | 135 | 7 | 105 |
| Dąb | 710 | 47 | 11 | 90 | 4 | 93 |
| Grab | 830 | - | - | 107 | - | 107 |
| Jodła | 450 | - | - | - | - | 62 |
| Jesion | 750 | 47 | 11 | 104 | 7 | 99 |
| Klon | 660 | 53 | 10 | 100 | 3,5 | 117 |
| Lipa | 530 | 44 | 9,5 | 85 | - | 90 |
| Modrzew | 690 | - | - | - | - | 85 |
| Mahoń | 600 | - | - | - | 7 | - |
| Olcha | 530 | 40 | 6,5 | - | 2 | 85 |
| Sosna | 550 | 43,5 | 7,5 | 104 | 3 | 78 |
| Świerk | 470 | 43 | 6 | 90 | 2,7 | 66 |
| Topola | 450 | 30 | 2,7 | 77 | - | 55 |

Klasy wytrzymałości drewna zgodnie z PN-EN 338

Gatunki iglaste

| | | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 |
|--|---------------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| Właściwości wytrzymałościowe w N/mm ² | | | | | | | | | | | | | |
| Zginanie | $f_{m,k}$ | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| Rozciąganie wzdłuż włókien | $f_{t,0,k}$ | 7,2 | 8,5 | 10 | 11,5 | 13 | 14,5 | 16,5 | 19 | 22,5 | 26 | 30 | 33,5 |
| Rozciąganie w poprzek włókien | $f_{t,90,k}$ | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Ściskanie wzdłuż włókien | $f_{c,0,k}$ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 24 | 25 | 27 | 29 | 30 |
| Ściskanie w poprzek włókien | $f_{c,90,k}$ | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 |
| Ścinanie | $f_{v,k}$ | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| Gęstość w kg/m ³ | | | | | | | | | | | | | |
| Gęstość charakterystyczna | ρ_k | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 360 | 380 | 390 | 400 | 410 | 430 |
| Średnia gęstość | ρ_{mean} | 350 | 370 | 380 | 400 | 410 | 420 | 430 | 460 | 470 | 480 | 490 | 520 |
| Właściwości zamieszczone w tablicy są określone dla wilgotności drewna odpowiadającej temperaturze 20 °C oraz wilgotności powietrza 65%. | | | | | | | | | | | | | |

| Gatunki liściaste | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| | | D18 | D24 | D27 | D30 | D35 | D40 | D45 | D50 | D55 | D60 | D65 | D70 | D75 | D80 |
| Właściwości wytrzymałościowe w N/mm ² | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zginanie | $f_{m,k}$ | 18 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| Rozciąganie wzdłuż włókien | $f_{t,0,k}$ | 11 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 |
| Rozciąganie w poprzek włókien | $f_{t,90,k}$ | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Ściskanie wzdłuż włókien | $f_{c,0,k}$ | 18 | 21 | 22 | 24 | 25 | 27 | 29 | 30 | 32 | 33 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| Ściskanie w poprzek włókien | $f_{c,90,k}$ | 4,8 | 4,9 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,8 | 6,2 | 6,6 | 10,5 | 11,3 | 12,0 | 12,8 | 13,5 |
| Ścinanie | $f_{v,k}$ | 3,5 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,1 | 4,2 | 4,4 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Gęstość w kg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gęstość charakterystyczna | ρ_k | 475 | 485 | 510 | 530 | 540 | 550 | 580 | 620 | 660 | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 |
| Średnia gęstość | ρ_{mean} | 570 | 580 | 610 | 640 | 650 | 660 | 700 | 740 | 790 | 840 | 900 | 960 | 1020 | 1080 |
| Właściwości zamieszczone w tablicy są określone dla wilgotności drewna odpowiadającej temperaturze 20 °C oraz wilgotności powietrza 65%. | | | | | | | | | | | | | | | |

METODA BADANIA

OZNACZANIE TWARDOŚCI DREWNA

Oznaczenie wg Janki

Aparatura:

- kulka stalowa o średnicy 11,284 mm (0,44 cala),
- urządzenie obciążające.

Badanie przeprowadza się na próbkach w postaci prostopadłościanów o wymiarach 50x50x70 mm.

Czas wykonania jednego wcisku powinien wynosić 2 minuty. Na dokładnie wygładzonym przekroju poprzecznym próbki należy wykonać 4 wciski, rozmieszczone w ten sposób, by ich brzegi były oddalone od siebie i od krawędzi próbki o 10 mm. Szybkość obciążania powinna wynosić 320 - 480 kG/min (3,2 – 4,8 kN/min). Następnie należy obliczyć naprężenia powstałe w wyniku wciskania stalowej kulki. Uzyskany wynik wyrażony w MPa stanowi liczbę twardości.

Metoda Janki jest bardzo popularna, jednak niepozbawiona wad. Można do nich zaliczyć w szczególności dużą zależność od struktury i układu słoików w drewnie. Problem ten uwidacznia się zwłaszcza w przypadku drzew iglastych, które charakteryzują się największą różnorodnością budowy.

Oznaczenie wg normy PN-EN 1534 (odporności na wgniecenie metodą Brinella)

Aparatura:

- wgłębnik wykonany ze stali niestopowej o sferycznym kształcie oraz promieniu $10 \pm 0,01$ mm,
- urządzenie pomiarowe zdolne pomierzyć powstałą średnicę wgłębienia z dokładnością do $\pm 0,1$ mm,
- urządzenie obciążające z dokładnością do $\pm 2\%$ maksymalnego obciążenia.

Próbka przeznaczona do badań powinna mieć wymiary minimum 50 x 50 x 50 mm.

Badaną próbkę należy umieścić w prasie ściskającej, następnie położyć na niej wgłębnik. Przyłożyć obciążenia tak, aby wartość obciążenia 1 kN została osiągnięta po 15 ± 3 sekundach od rozpoczęcia. Należy utrzymywać uzyskane obciążenie przez kolejne 25 ± 5 sekund. Po przeprowadzonym badaniu należy wyjąć wgłębnik oraz zmierzyć średnicę powstałego wgłębienia w dwóch prostopadłych kierunkach (d_1 oraz d_2). Odległość pomiędzy środkiem wgłębienia powstałego w wyniku przeprowadzonego badania a dowolną krawędzią próbki lub sękiem nie powinna być mniejsza niż 20 mm.

Twardość wg Brinella HB należy obliczyć wg wzoru:

$$HB = \frac{2F}{g \cdot \pi \cdot D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

gdzie:

HB – twardość Brinella w N/mm^2 ,

g – wartość przyciągania ziemskiego w m/s^2 ,

F – maksymalna przyłożona siła w N,

D – średnica węgelnika w mm,

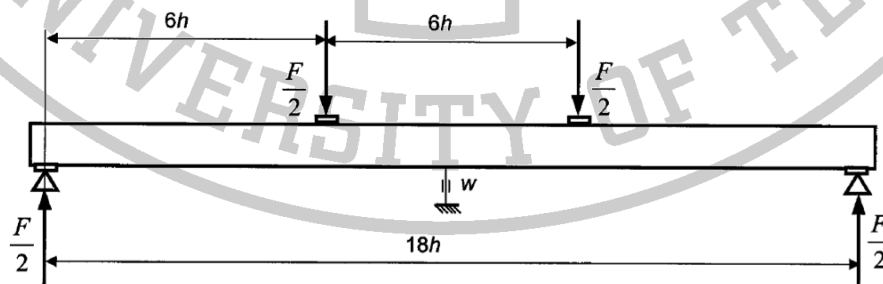
d – średnia wartość średnicy powstałego wgłębienia w mm.

OZNACZENIE WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE STATYCZNE

Oznaczanie wg normy PN-EN 408

Badania powinny być przeprowadzone na próbkach klimatyzowanych w powietrzu o temperaturze 20 ± 2 °C i wilgotności względnej $65 \pm 5\%$. Próbka jest klimatyzowana aż do osiągnięcia stałej masy (wyniki dwóch kolejnych pomiarów, przeprowadzonych w odstępie 6 h nie różnią się o więcej niż 0,1% masy próbki). Dla większości gatunków iglastych odpowiada to wilgotności drewna ok 12 %. Jeżeli badane drewno trudno doprowadzić do podanego powyżej stanu (np. drewno liściaste o dużej gęstości), fakt ten powinien być odnotowany.

Długość próbki do badań powinna zasadniczo równać się 19-krotnej wysokości przekroju poprzecznego. Jeżeli nie jest to możliwe, należy odnotować rzeczywistą rozpiętość próbki. Badaną próbkę należy obciążać symetrycznie dwiema siłami skupionymi (jak na rysunku poniżej). Jeżeli próbki oraz oprzyrządowanie nie spełniają podanych warunków, to odległość między punktami przyłożenia sił i podporami może być zmieniona o wartość nie większą niż 1,5-krotna wysokość próbki, a rozpiętość może być zmieniona o wartość nie większą niż 3-krotna wysokość próbki, z zachowaniem symetrii obciążenia.



Urządzenie obciążające powinno umożliwiać pomiar obciążenia z dokładnością do 1% siły obciążającej próbkę. Obciążenia powinny być przykładane ze stałą prędkością posuwu napór, tak aby obciążenia maksymalne zostało osiągnięte po 300 ± 120 sekundach. Zaleca się aby prędkość obciążania próbki ustalić na podstawie badań wstępnych.

Wytrzymałość na zginanie należy obliczać ze wzoru:

$$f_m = \frac{a \cdot F_{max}}{2W}$$

gdzie:

f_m – wytrzymałość na zginanie (w N/mm²),

a – odległość miejsca przyłożenia siły od najbliższej podpory (w mm),

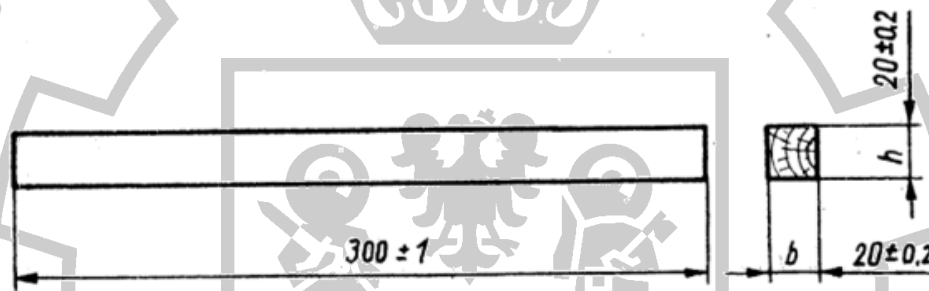
F_{max} – maksymalne obciążenia (w N),

W – wskaźnik wytrzymałości przekroju (w mm³).

Wytrzymałość należy obliczać z dokładnością do 1 %. Rodzaj zniszczenia oraz jego przebieg w każdej badanej próbce powinien być odnotowany.

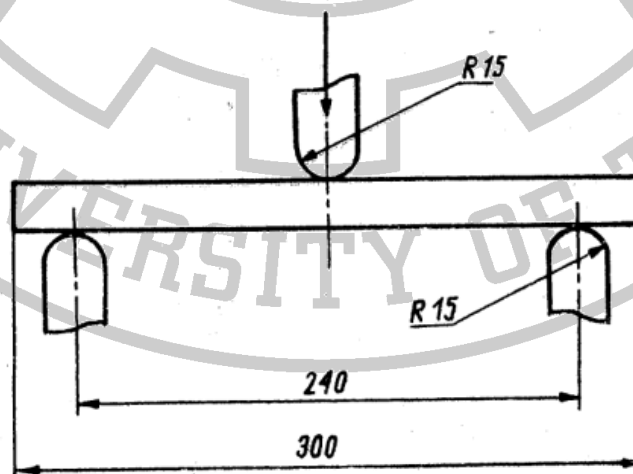
Oznaczenie wg normy PN-D-04103

Kształt i wymiary próbki w mm:



Pomiar przekroju próbki należy wykonać bezpośrednio przed oznaczeniem, w połowie długości próbki, w kierunku promieniowym b i stycznym h , z dokładnością do 0,1 mm.

Próbkę należy umieścić w maszynie probierczej swobodnie, symetrycznie na dwóch podporach w ten sposób, aby napora maszyny przeniosła obciążenie na próbkę w środku jej długości i aby siła zginająca działała prostopadle do przekroju promieniowego drewna.



Próbkę należy obciążać równomiernie w środku jej długości ze stałą prędkością tak dobraną, aby jej zniszczenie nastąpiło w ciągu 90 ± 30 s od chwili rozpoczęcia obciążenia. Wartość siły niszczącej należy odczytać z dokładnością do 1%.

Wytrzymałość na zginanie statyczne przy wilgotności (W) w chwili badania (σ_{bW}) należy obliczać według wzoru:

$$\sigma_{bW} = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [MPa]$$

P_{max} – siła niszcząca [N],

l – rozstaw podpór [mm],

b – szerokość próbki [mm],

h – wysokość próbki [mm].

Przeliczanie wartości wytrzymałości próbki przy wilgotności W na wartość przy wilgotności 12% z zaokrągleniem do 1 MPa należy wykonać według wzoru:

$$\sigma_{b12} = \sigma_{bW} [1 + \alpha(W - 12)] \quad [MPa]$$

α – współczynnik przeliczeniowy, $\alpha = 0,04$,

W – wilgotność drewna w chwili badania.

Średnia wytrzymałość na zginanie statyczne próbek laboratoryjnych wykonanych z jednej próbki pierwotnej obliczona jest jako średnia arytmetyczna wytrzymałości poszczególnych próbek laboratoryjnych z zaokrągleniem do 1 MPa.

OZNACZANIE WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE WZDŁUŻ WŁÓKIEN

Oznaczanie wg normy PN-EN 408

Badania powinny być przeprowadzone na próbkach klimatyzowanych w powietrzu o temperaturze 20 ± 2 °C i wilgotności względnej $65 \pm 5\%$. Próbką jest klimatyzowana aż do osiągnięcia stałej masy (wyniki dwóch kolejnych pomiarów, przeprowadzonych w odstępie 6 h nie różnią się o więcej niż 0,1% masy próbki). Jeżeli badane drewno trudno doprowadzić do podanego powyżej stanu (np. drewno liściaste o dużej gęstości), fakt ten powinien być odnotowany.

Próbki powinny mieć przekrój poprzeczny pełnowymiarowego elementu konstrukcyjnego oraz długość równa sześciokrotnemu wymiarowi mniejszego boku przekroju. Czoła próbki powinny być gładko obrobione, wzajemnie równoległe i prostopadłe do jej podłużnej osi.

Urządzenie obciążające powinno umożliwiać pomiar obciążenia z dokładnością do 1% siły obciążając próbkę. Obciążenia powinny być przykładane ze stałą prędkością posuwu napór, tak aby obciążenia maksymalne zostało osiągnięte po 300 ± 120 sekundach. Zaleca się aby prędkość obciążania próbki ustalić na podstawie badań wstępnych.

Wytrzymałość na zginanie należy obliczać ze wzoru:

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{A}$$

gdzie:

$f_{c,0}$ – wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien (w N/mm^2),

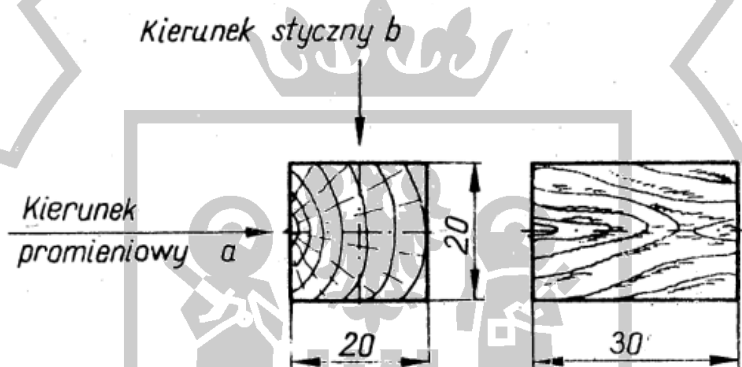
F_{max} – maksymalne obciążenia (w N),

A – pole przekroju poprzecznego (w mm^2).

Wytrzymałość należy obliczać z dokładnością do 1 %. Rodzaj zniszczenia oraz jego przebieg w każdej badanej próbce powinien być odnotowany.

Oznaczanie wg normy PN-D-04102

Kształt i wymiary próbki w mm:



Pomiar badanego przekroju próbki należy wykonać bezpośrednio przed oznaczaniem w połowie długości próbki, w kierunku promieniowym (a) i stycznym (b), z dokładnością do 0,1 mm.

Próbkę należy umieścić na środku płyty przegubowej maszyny probierczej w ten sposób, aby kierunek działania siły ściskającej był równoległy do jej podłużnej osi.

Próbkę należy obciążać równomiernie ze stałą prędkością tak dobraną, aby zniszczenie nastąpiło w czasie $90 \pm 30s$ od chwili rozpoczęcia obciążania. Siłę potrzebną do zniszczenia próbki należy odczytać z dokładnością nie mniejszą niż 1% siły niszczącej.

Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien próbki o wilgotności W , w chwili badania (R_{cW}) należy obliczać z dokładnością do 0,5 MPa, według wzoru:

$$R_{cW} = \frac{P_{max}}{a \cdot b} \quad [MPa]$$

P_{max} – siła zużyta do zniszczenia próbki [N],

a – wymiar próbki w kierunku promieniowym [mm],

b – wymiar próbki w kierunku stycznym [mm].

Przeliczanie wartości wytrzymałości próbki przy wilgotności W na wartość przy wilgotności 12% zaokrągleniem do 0,5 MPa należy wykonać według wzoru:

$$R_{c12} = R_{cW} [1 + \alpha(W - 12)] \quad [MPa]$$

α – współczynnik przeliczeniowy, $\alpha = 0,04$,

W – wilgotność drewna w chwili badania.

Średnia wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien próbek laboratoryjnych wykonanych z jednej próbki pierwotnej obliczona jest jako średnia arytmetyczna wytrzymałości poszczególnych próbek laboratoryjnych z zaokrągleniem do 0,5 MPa.

