

KONSTRUKCJE DREWNIANE - W -3BD

5. WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE DREWNA

Drewno jest materiałem anizotropowym i higroskopijnym o niejednolitej i zmiennej budowie. Badanie właściwości mechanicznych drewna wymaga uwzględnienia wielu czynników, wśród których kierunek w stosunku do włókien i wilgotność drewna oraz liczebność i rozmieszczenie wad strukturalnych mają największe znaczenie.

WYTRZYMAŁOŚĆ DREWNA NA ŚCISKANIE zależy od wielu czynników, takich jak: ciężar objętościowy, wilgotność, stosunek zawartości drewna wczesnego do drewna późnego w słojach rocznych, liczba i stan oraz usytuowanie sęków, kierunek włókien, temperatura.

WYTRZYMAŁOŚĆ DREWNA NA ROZCIĄGANIE WZDŁUŻ WŁÓKIEN zależy też od wielu czynników, takich jak: usytuowanie i rodzaj sęków oraz ukośny przebieg włókien.

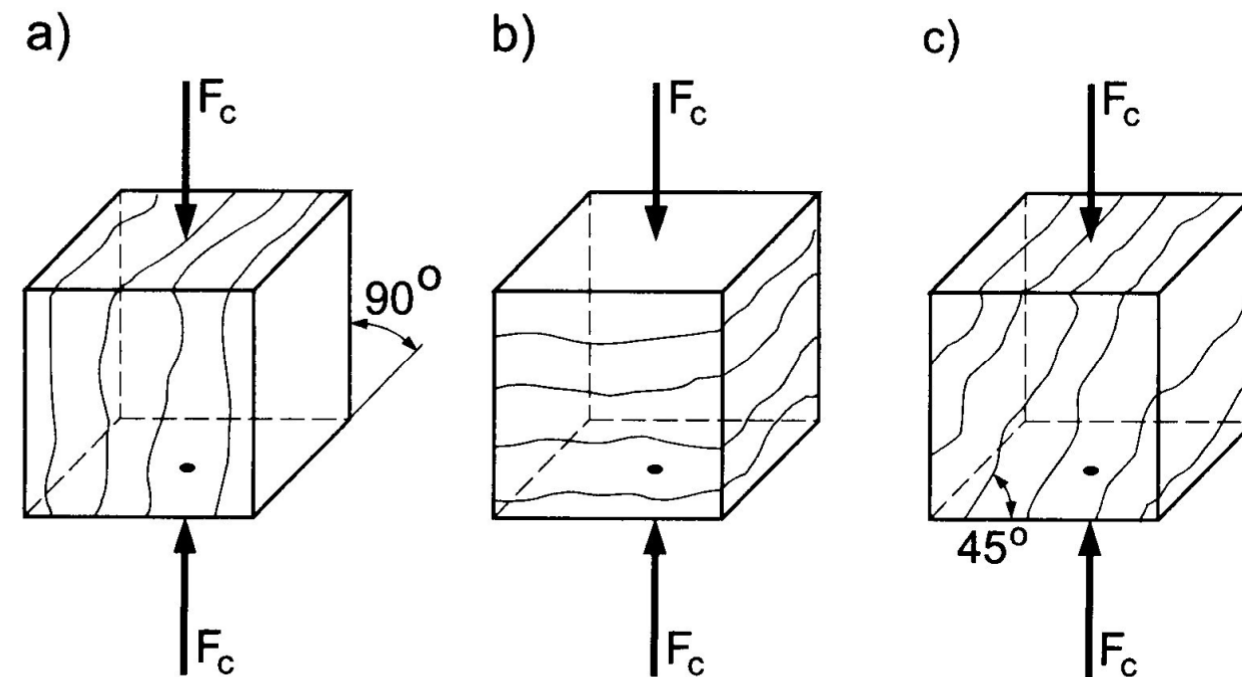
WYTRZYMAŁOŚĆ DREWNA NA ROZCIĄGANIE PROSTOPADLE DO WŁÓKIEN jest bardzo mała i wynosi w zależności od gatunku drewna, zaledwie od 2 do 7% wytrzymałości na rozciągania wzdłuż włókien; dlatego w odpowiedzialnych konstrukcja nie należy dopuszczać do powstania takiego stanu naprężenia!

WYTRZYMAŁOŚĆ DREWNA NA ZGINANIE zależy od tych samych czynników, jak przy wytrzymałości na rozciąganie; usytuowanie i rodzaj sęków oraz ukośny przebieg włókien.

Wytrzymałość drewna na ściskanie zależy od wielu czynników, takich jak: ciężar objętościowy, wilgotność, stosunek zawartości drewna wczesnego do drewna późnego w słojach rocznych, liczba, stan i usytuowanie sęków, kierunek włókien, temperatura (PN-77 / D-04227).

Dla tego samego rodzaju drewna wytrzymałość jest zależna od położenia siły względem słoików oraz kierunku włókien. W przypadku działania siły stycznej do słoików wytrzymałość jest większa niż w przypadku działania siły w kierunku promieniowym. Najmniejsza wytrzymałość jest wtedy, gdy siła działa pod kątem 45° do włókien (rys. 3.1). Według PN-79 / D-04102 i PN-77 / D-04229 badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadza się na próbkach prostopadłościen-

Rysunek 3.1. Schemat badania wytrzymałości na ściskanie próbek małogabarytowych, w zależności od kierunku działania siły w stosunku do włókien (wg PN-81 / D-04102): a) stycznie do słoików, b) w kierunku promieniowym, c) pod kątem 45° do słoików rocznych



nych o wymiarach $20 \times 20 \times 30$ mm (wymiar 30 mm mierzony wzdłuż włókien). Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien próbki o wilgotności W wyraża się wzorem

$$f_{c,W} = \frac{F_{c,max}}{ab} \quad (3.1)$$

a wytrzymałość drewna o wilgotności 12% oblicza się z zależności

$$f_{c,12} = f_{c,W} [1 + \alpha(W - 12)] \quad (3.2)$$

gdzie:

$F_{c,max}$ — siła niszcząca, N,

a — wymiar próbki w kierunku promieniowym, mm,

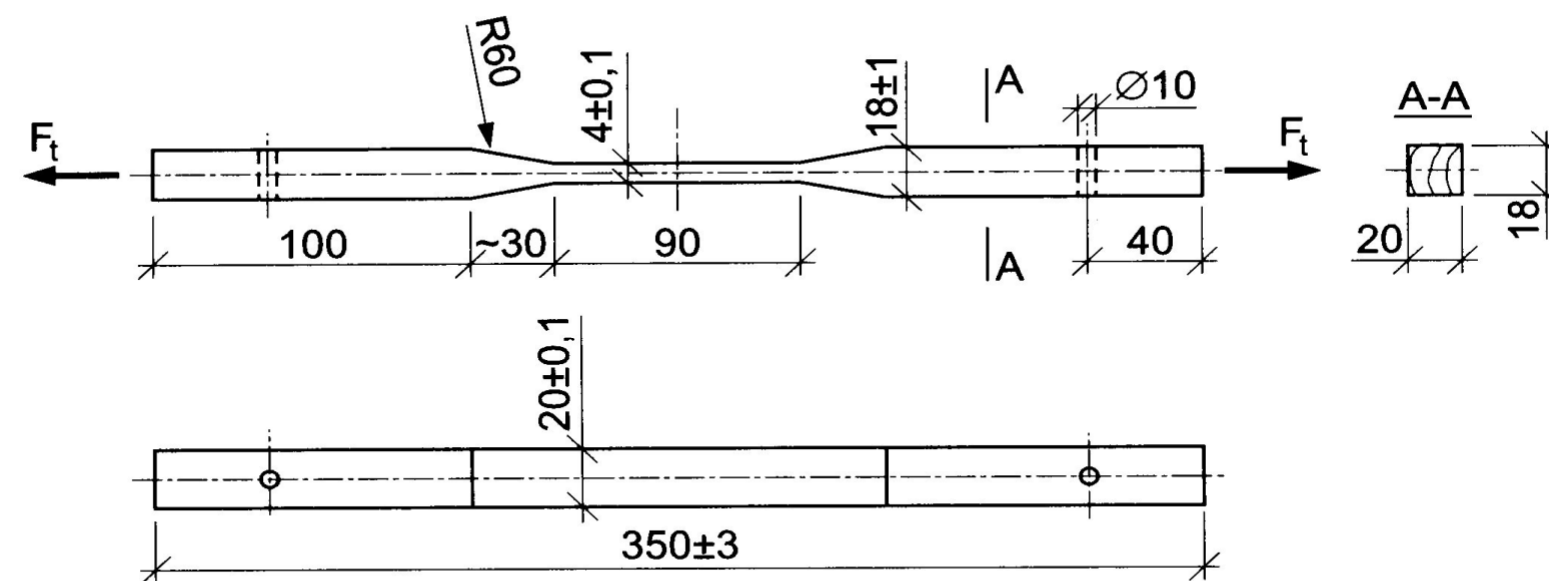
b — wymiar próbki w kierunku stycznym, mm,

α — współczynnik zmiany wytrzymałości drewna na ściskanie przy zmianie jego wilgotności o 1% (w przedziale 9÷15% $\alpha = 0,04$),

W — wilgotność drewna próbki, %.

Drewno ma dużą **wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien**. Na wytrzymałość drewna na rozciąganie decydujący wpływ ma usytuowanie i rodzaj sęków oraz ukośny przebieg włókien. Szczególnie duży wpływ na zmniejszenie wytrzymałości mają sęki znajdujące się na krawędzi elementu. W przypadku ukośnego przebiegu włókien siła rozciągająca rozkłada się na składową działającą wzdłuż włókien i prostopadłą do nich. Ta druga składowa powoduje rozciąganie prostopadłe do włókien, obniżając wytrzymałość.

Ze względu na wpływ, jaki na wytrzymałość mają sęki i nieregularność włókien, pole netto najmniejszego przekroju konstrukcyjnego powinno być większe niż 45 cm^2 , a najmniejszy wymiar osłabionego przekroju większy niż 3 cm. Badania wytrzymałości na rozciąganie przeprowadza się według PN-81/D-04107 (badania wzdłuż włókien — rys. 3.2) i PN-81/D-04108 (badania w poprzek włókien — rys. 3.3).



Rysunek 3.2. Kształt próbki do badania wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien (wg PN-81/D-04107)

Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien próbki o wilgotności W wyraża się wzorem

$$f_{t,W} = \frac{F_{t,max}}{A} \quad (3.3)$$

a wytrzymałość drewna o wilgotności 12% oblicza się z zależności

$$f_{t,12} = f_{t,W} [1 + \alpha(W - 12)] \quad (3.4)$$

gdzie:

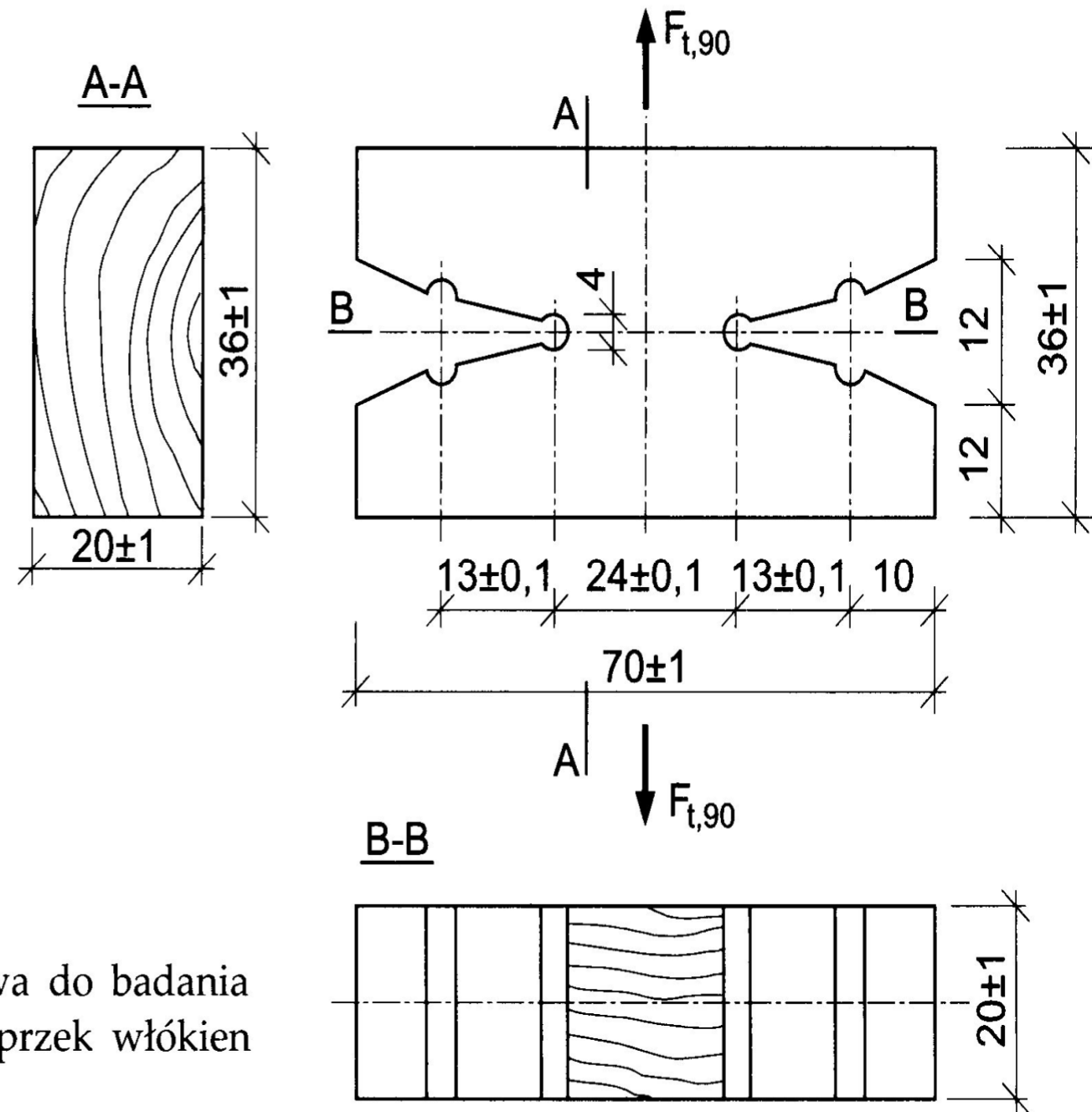
$F_{t,max}$ — siła niszcząca, N,

A — powierzchnia przekroju zrywanej części próbki, mm²,

α — współczynnik zmiany wytrzymałości drewna na rozciąganie przy zmianie jego wilgotności o 1% (w przedziale 9÷15% $\alpha = 0,015$),

W — wilgotność drewna próbki, %.

Wytrzymałość drewna na rozciąganie prostopadłe do włókien jest bardzo mała (tabl. 3.1) i — w zależności od gatunku drewna — wynosi około 2÷7% wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien. Z tego powodu nie można dopuścić do występowania w elementach konstrukcji drewnianej rozciągania prostopadłego do włókien.

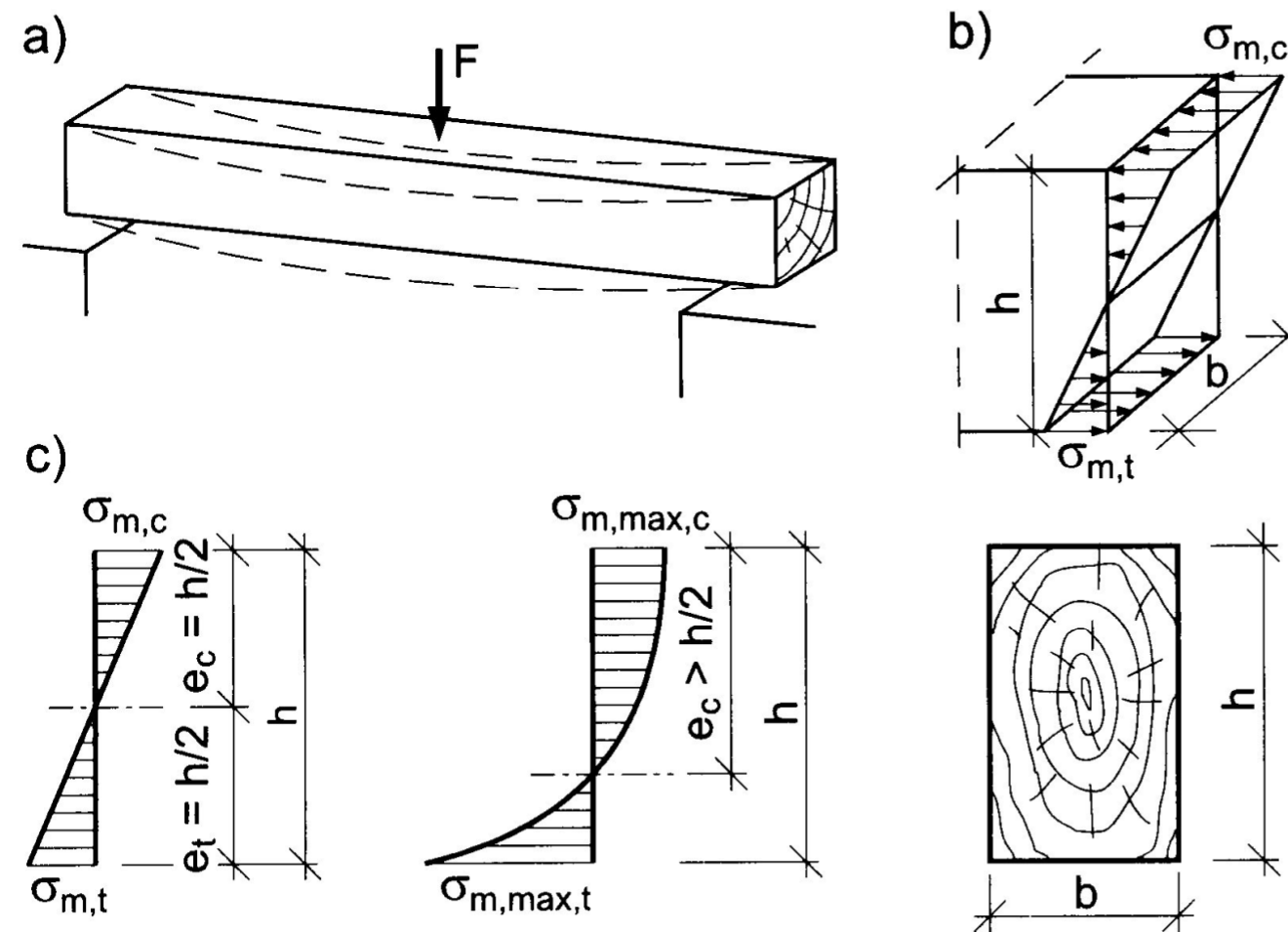


Rysunek 3.3. Próbkę małowymiarową do badania wytrzymałości na rozciąganie w poprzek włókien (wg PN-81/D-04108)

Tablica 3.1. Wytrzymałość drewna na rozciąganie wg [13]

Gatunek	Graniczna wytrzymałość na rozciąganie, MPa		
	wzdłuż włókien	w poprzek włókien	
		w kierunku promieniowym	w kierunku stycznym
Grab	189,0	10,1	6,1
Klon	168,2	7,2	3,7
Brzoza	156,0	8,2	10,6
Dąb	145,0	5,8	4,1
Osika	145,0	1,7	4,1
Olsza	140,0	3,3	1,8
Buk	134,0	8,9	7,5
Sosna	127,8	2,6	2,0
Modrzew	120,3	6,2	—
Jesion	110,9	2,2	4,1
Wiąz	79,4	3,5	3,7
Świerk	73,4	2,2	3,0

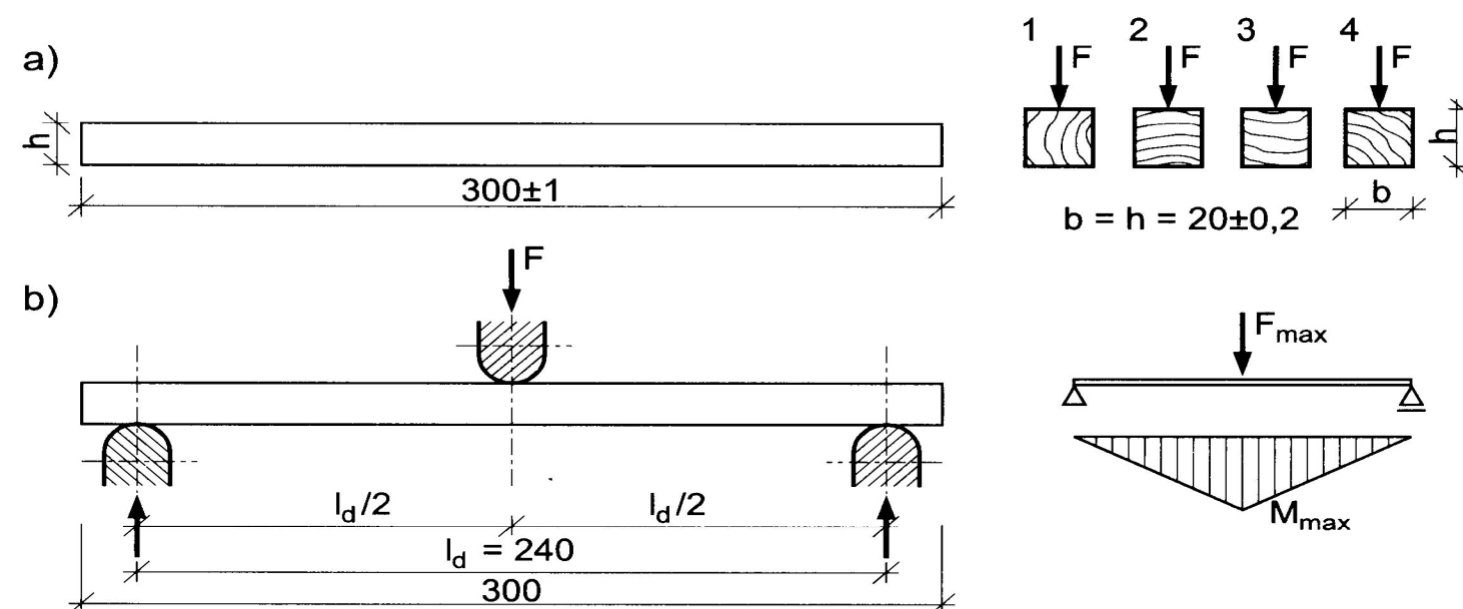
W elementach zginanych decydującą rolę odgrywają naprężenia normalne, dlatego wytrzymałość drewna na zginanie zależy od tych samych czynników co wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie. Największe naprężenia występują na skraju przekroju, a ich wartości na wysokości belki zmieniają się liniowo (rys. 3.4b).



Rysunek 3.4. Rozkład naprężeń ściskających i rozciągających w belce zginanej: a) schemat obciążenia, b) naprężenia w przekroju, c) rozkład naprężeń w różnych stadiach obciążeń; e_c – odległość skrajnych włókien ściskanych od powierzchni obojętnej, e_t – odległość skrajnych włókien rozciąganych od powierzchni obojętnej, b, h – wymiary przekroju belki

Zniszczenie belki zginanej następuje na ogół w strefie rozciąganej, mimo wysokiej wytrzymałości drewna na rozciąganie w porównaniu ze ściskaniem. Zjawisko to tłumaczy się tym, że gdy w strefie ściskanej występują zbyt duże siły ściskające, oś obojętna przesuwa się w stronę naprężeń rozciągających (rys. 3.4c). Wykres naprężeń w strefie ściskanej przechodzi w krzywoliniowy, a odkształcenie ze sprężystych przechodzi w plastyczne, co z kolei powoduje dalsze przesunięcie osi obojętnej i wzrost naprężeń rozciągających. Proces ten postępuje aż do zerwania najbardziej wyteżonych włókien rozciąganych. Zniszczenie może nastąpić również w strefie ściskanej w wyniku lokalnej utraty stateczności włókien przy ściskaniu.

Kształt próbki badawczej pokazano na rys. 3.5. Beleczki próbne powinny być obciążone siłą skupioną przyłożoną w połowie rozpiętości między podporami.



Rysunek 3.5. Schemat badania wytrzymałości na zginanie: a) wymiary i kierunek obciążenia próbek małogabarytowych, b) schemat obciążenia próbek; 1 – obciążenie prostopadłe do kierunku promieniowego (kierunek styczny), 2 – obciążenie prostopadłe do przekroju stycznego w kierunku rdzenia (kierunek promieniowy), 3 – obciążenie w kierunku promieniowym, od rdzenia ku obwodowi, 4 – próbka z diagonalnym układem słoików

Wytrzymałość na zginanie drewna o wilgotności W wyraża się wzorem

$$f_{m,W} = \frac{3F_{max}l_d}{2bh^2} \quad (3.5)$$

a wytrzymałość drewna o wilgotności 12% oblicza się z zależności

$$f_{m,12} = f_{m,W} [1 + \alpha(W - 12)] \quad (3.6)$$

gdzie:

σ — naprężenia przy zginaniu, MPa,

F_{max} — siła niszcząca, N,

l_d — rozstaw podpór, mm,

b — szerokość próbki, mm,

h — wysokość próbki, mm,

α — współczynnik przeliczeniowy równy 0,04,

W — wilgotność drewna próbki, %.

2.2 Zasady projektowania metodą stanów granicznych

2.2.1 Postanowienia ogólne

(1)P W modelach obliczeniowych odnoszących się do poszczególnych stanów granicznych należy uwzględnić następujące zagadnienia:

- różnice we właściwościach materiałów (np. wytrzymałość i sztywność),
- różnice w zachowaniu się materiałów w czasie (czas trwania obciążenia, pełzanie),
- różnice w warunkach klimatycznych (temperatura, zmiany wilgotności),
- różnice w sytuacjach obliczeniowych (etapy realizacji, zmiany warunków podparcia).

2.2.2. STANY GRANICZNE KONSTRUKCJI Z DREWNA

Do stanów granicznych nośności zalicza się:

- wyczerpanie nośności przekrojów lub fragmentów konstrukcji,
- utratę stateczności elementów ściskanych lub elementów usztywniających,
- utratę nośności połączeń.

Obliczenie stanu granicznego użytkowalności w konstrukcjach drewnianych najczęściej sprowadza się do określenia ugięć (przemieszczeń).

Tablica 1 – Klasy wytrzymałości – Wartości charakterystyczne

		Topola i gatunki iglaste											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Właściwości wytrzymałościowe (w N/mm²)													
Zginanie	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Rozciąganie wzdłuż włókien	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Rozciąganie w poprzek włókien	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ściskanie wzdłuż włókien	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Ściskanie w poprzek włókien	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Ścinanie	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Właściwości sprężyste (w kN/mm²)													
Średni moduł sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
5 % kwantyl modułu sprężystości wzdłuż włókien	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Średni moduł sprężystości w poprzek włókien	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Średni moduł odkształcenia postaciowego	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Gęstość (w kg/m³)													
Gęstość charakt.	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Średnia gęstość	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

UWAGA: a Podane wyżej wartości wytrzymałości na rozciąganie, ściskanie, ścinanie, 5 % kwantylu modułu sprężystości, średni moduł odkształcenia postaciowego zostały obliczone z zastosowaniem wzorów podanych w załączniku A.

b Właściwości zamieszczone w tablicy są określone dla wilgotności drewna odpowiadającej temperaturze 20 °C i wilgotn

c Zachodzi możliwość ograniczonej dostępności drewna klas C45 i C50.

Wzory dotyczące wartości charakterystycznych

Poniższe wzory stosuje się w celu określania wartości charakterystycznych podanych w tablicy 1, innych niż wytrzymałość na zginanie, średnia wartość modułu sprężystości przy zginaniu oraz gęstość.

Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien: $f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$

Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien: $f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0,45}$

Wytrzymałość na ściskanie: $f_{v,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3,8 \\ 0,2 (f_{m,k})^{0,8} \end{array} \right.$

Wytrzymałość na rozciąganie w poprzek włókien: $f_{t,90,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \\ 0,0015 \rho_k \end{array} \right.$

Wytrzymałość na ściskanie w poprzek włókien:

$$f_{c,90,k} = 0,007 \rho_k \text{ dla gatunków iglastych;}$$

$$f_{c,90,k} = 0,015 \rho_k \text{ dla gatunków liściastych.}$$

Moduł sprężystości wzdłuż włókien:

$$E_{0,05} = 0,67 E_{0,mean} \text{ dla gatunków iglastych;}$$

$$E_{0,05} = 0,84 E_{0,mean} \text{ dla gatunków liściastych.}$$

Średni moduł sprężystości w poprzek włókien:

$$E_{90,mean} = E_{0,mean}/30 \text{ dla gatunków iglastych;}$$

$$E_{90,mean} = E_{0,mean}/15 \text{ dla gatunków liściastych.}$$

Średni moduł odkształcenia postaciowego: $G_{mean} = E_{0,mean}/16.$

NA.2.8.5 Klasyfikacja krajowego drewna konstrukcyjnego

Do chwili wpisania klasyfikacji krajowego drewna konstrukcyjnego do PN-EN 1912 zaleca się przyjmowanie klas sortowniczych klasyfikacji wizualnej oraz zależności między klasami sortowniczymi i wytrzymałościowymi według Tablicy NA.2.

Tablica NA.2 – Relacja klas sortowniczych krajowego drewna konstrukcyjnego wg PN-D-94021 w stosunku do klas wytrzymałościowych wg PN-EN 338

Gatunek drewna	Grubość [mm]	KW	KS	KG
Sosna zwyczajna	≥22	wg EN 1912		
Sosna zwyczajna zgodnie z EN 1912		C35	C24	C20
Świerk pospolity		C30	C24	C18
Jodła pospolita		C22	C18	C14
Modrzew europejski		C35	C30	C24