

KONSTRUKCJE DREWNIANE

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 konstrukcjach 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.

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

STANY GRANICZNE NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

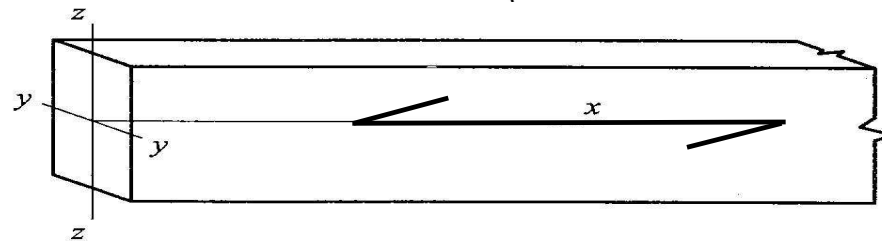
ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH Z DREWNA

Do stanów granicznych nośności zalicza się:

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

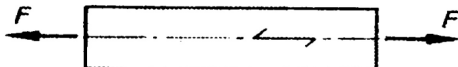
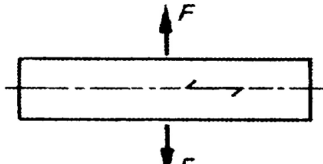
Obliczenie stanu granicznego użytkowalności w konstrukcjach drewnianych najczęściej sprowadza się do określenia ugięć (przemieszczeń). Obliczenia te polegają na sprawdzeniu, czy ugięcia konstrukcji pod obciążeniem charakterystycznym nie są większe od wartości uznanych za nieprzekraczalne ze względu na przeznaczenie budowli (np. walory estetyczne) oraz możliwości uszkodzeń bądź poprawnego funkcjonowania elementów lub urządzeń (np. bram) przylegających do konstrukcji.

Układy współrzędnych

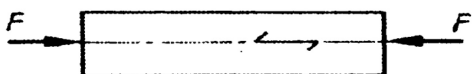
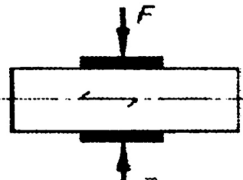
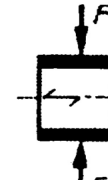


Obciążenia

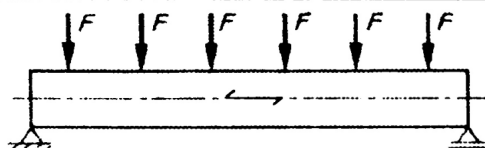
Rozciąganie

2	 <p>rozciąganie wzdłużne (\parallel do włókien)</p>	 <p>rozciąganie poprzeczne (\perp do włókien)</p>
---	--	---

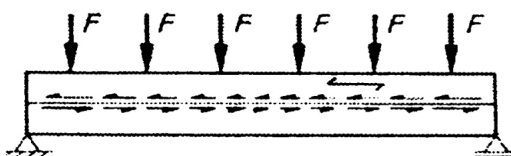
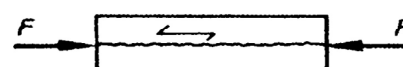
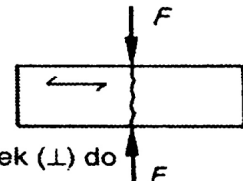
Ściskanie ³⁾

3	 <p>ściskanie wzdłużne (\parallel do włókien)</p>	 <p>ściskanie poprzeczne (\perp do włókien) z występami \parallel do włókien</p>	 <p>ściskanie poprzeczne (\parallel do włókien) bez występów \parallel do włókien</p>
---	--	---	--

Zginanie

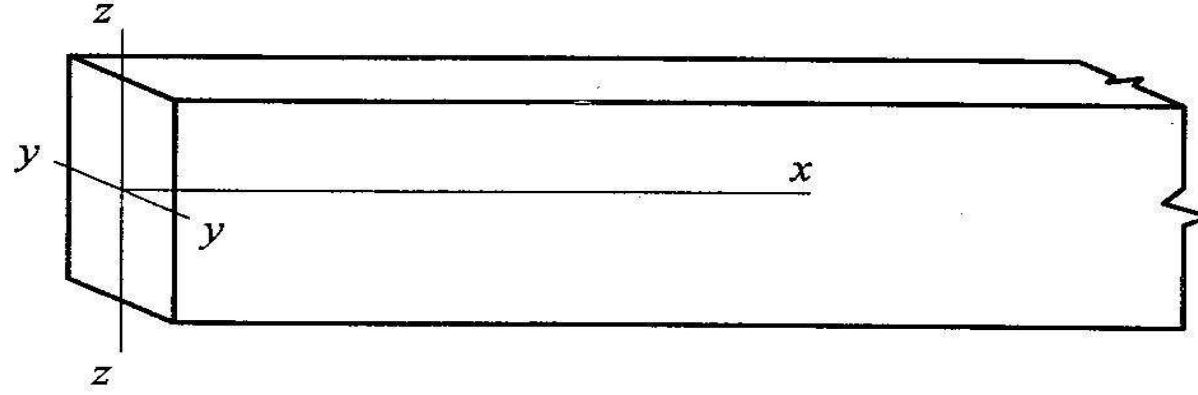
4	 <p>strefa ściskana jest „u góry” strefa rozciągana jest „na dole” siły ścinające patrz: wiersz 5</p>
---	---

Ścinanie przy zginaniu ⁴⁾

5	 <p>w belce zginanej siły ścinające usiłują przesunąć poszczególne płaszczyzny w kierunku wzdłużnym</p>	<p>Przecinanie (przesuwanie)</p>  <p>wzdłuż (\parallel) do włókien</p>  <p>w poprzek (\perp) do włókien</p> <p>w jednej płaszczyźnie (śccinanie rozciągające lub ściskające)</p>
---	---	--

STAN GRANICZNY NOŚNOŚCI – ELEMENTY ZGINANE

Przy projektowaniu elementów zginanych muszą być spełnione następujące warunki:



Rys. 3.2. Kierunki osi elementu

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

gdzie:

- k_m – współczynnik korekcyjny, dla przekroju prostokątnego $k_m = 0,7$, dla innych przekrojów $k_m = 1,0$; należy skorzystać ze wzoru (3.17a) lub (3.17b), w którym współczynnik k_m powoduje zmniejszenie wartości mniejszego z ilorazów σ/f ,
- $\sigma_{m,z,d}$, $\sigma_{m,y,d}$ – naprężenia obliczeniowe od zginania wzdłuż osi z lub y ,
- $f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$ – wytrzymałość obliczeniowa na zginanie wzdłuż osi y lub z obliczona ze wzoru (3.8).

Równocześnie powinien być również spełniony warunek wynikający ze wzoru

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}, \quad (3.18)$$

gdzie:

$\sigma_{m,d}$ – naprężenie obliczeniowe od zginania,

$f_{m,d}$ – wytrzymałość obliczeniowa na zginanie, obliczona ze wzoru (3.8),

k_{crit} – współczynnik stateczności, określony wzorem (3.21), na podstawie współczynnika $\lambda_{rel,m}$ stateczności giętno-skrętnej występującej przy zginaniu, a określonego wzorem (3.19) lub (3.20):

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}},$$

gdzie:

- $f_{m,k}$ – wytrzymałość charakterystyczna na zginanie, przyjęta z tabeli 3.6,
 $\sigma_{m,crit}$ – naprężenie krytyczne przy zginaniu, obliczone zgodnie z klasyczną teorią stateczności.

Dla przekrojów prostokątnych wzór (3.19) przyjmuje postać:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d \cdot h \cdot f_{m,d}}{\pi b^2 \cdot E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}}, \quad (3.20)$$

gdzie:

$l_d = l_{eff}$

– długość obliczeniowa belki, określona wg tabeli 3.13, na podstawie schematu statycznego, długości rzeczywistej l (pomiędzy stężeniami) oraz poziomu przyłożenia obciążenia,

h

– wysokość belki,

b

– szerokość belki,

$f_{m,d}$

– wytrzymałość obliczeniowa na zginanie, obliczona ze wzoru (3.8),

$E_k = E_{0,05}, E_{0,mean}, G_{mean}$ – moduły sprężystości przyjęte z tabeli 3.16.

Wartość k_{crit} można obliczyć następująco:

$$\begin{aligned} k_{crit} &= 1,0 \quad \text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75, \\ k_{crit} &= 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} \quad \text{dla } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4, \\ k_{crit} &= \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{dla } \lambda_{rel,m} > 1,4. \end{aligned} \tag{3.21}$$

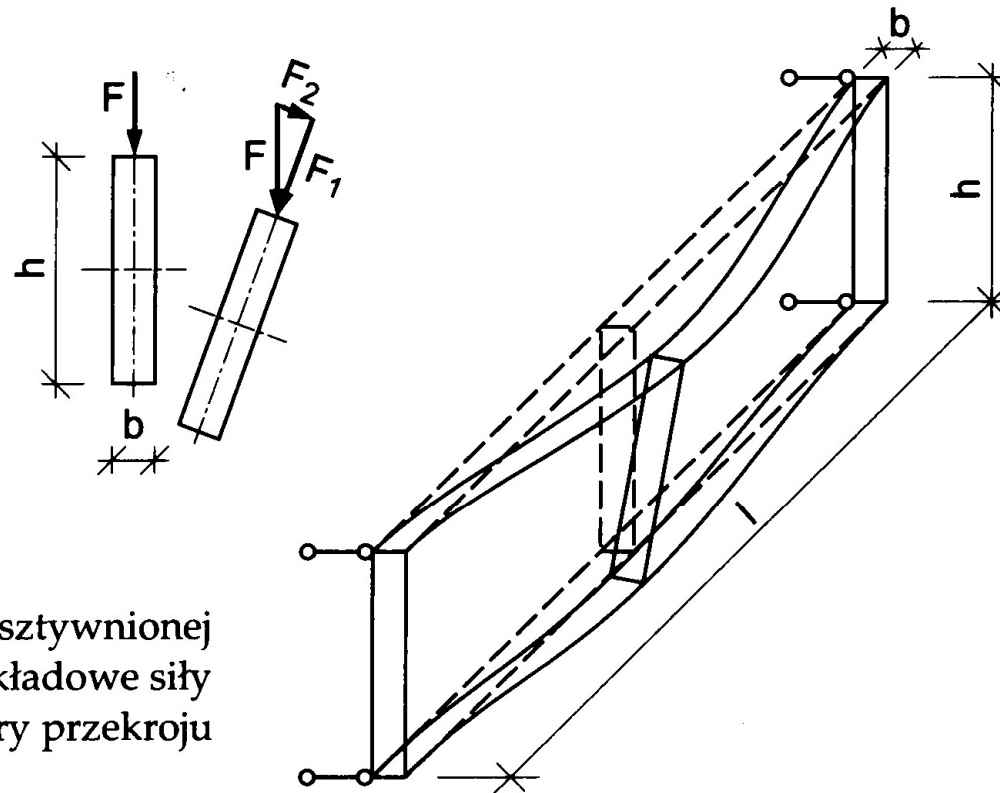
Dla belek zabezpieczonych w strefie ściskanej, na całej swej długości, przed przemieszczeniami bocznymi i na podporach przed skręcaniem $k_{crit} = 1,0$.

Tabela 3.13. Stosunek długości obliczeniowej belki l_{eff} do długości rzeczywistej l
wg PN-B-03150:2000 [35]

Rodzaj belki i obciążenia	$l_{eff}:l$
Swobodnie podparta, obciążenie równomierne lub równe momenty na końcach	1,0
Wspornik, moment na końcu	1,0
Swobodnie podparta, obciążenie skupione na środku belki	0,85
Wspornik, obciążenie skupione na końcu	0,85
Wspornik, obciążenie równomierne	0,60
Wartości stosunku $l_{eff}:l$ dotyczą obciążeń działających w osi środkowej belki. Dla obciążeń pionowych, przyłożonych do górnej powierzchni belki, obliczoną wartość l_{eff} zwiększa się o $2h$, zaś dla obciążeń przyłożonych do dolnej powierzchni redukuje się o $0,5h$, gdzie h – wysokość belki.	

Stężenia belek stropowych i stropodachowych

Belki drewniane stropów poddanych dużym obciążeniom mogą utracić stateczność nad podporami, a w przypadku usztywnienia podpór również w przęśle (rys. 11.17). Dotyczy to szczególnie belek o przekroju prostokątnym i dużej smukłości ($h/b > 4$) oraz belek teowych ze średnikiem małej grubości. Jeśli nie jest możliwe zwiększenie wymiarów belki nad podporami, należy przewidzieć stężenia pionowe w postaci elementów sztywnych lub taśmy stalowej (rys. 11.18). Stężenie takie powinno być również wykonane w połowie rozpiętości belki. W stropach o małej rozpiętości funkcję stężeń może spełniać deskowanie przybite do górnej i dolnej płaszczyzny belek stropowych.



Rysunek 11.17. Utrata stateczności belki usztywnionej na podporach: F – siła obciążająca, F_1 , F_2 – składowe siły F w chwili utraty stateczności, b , h – wymiary przekroju belki, l – rozpiętość belki

Siłę stabilizującą F_d w ściskanej strefie belki o przekroju prostokątnym należy obliczać ze wzorów (11.5) i (11.6), przyjmując

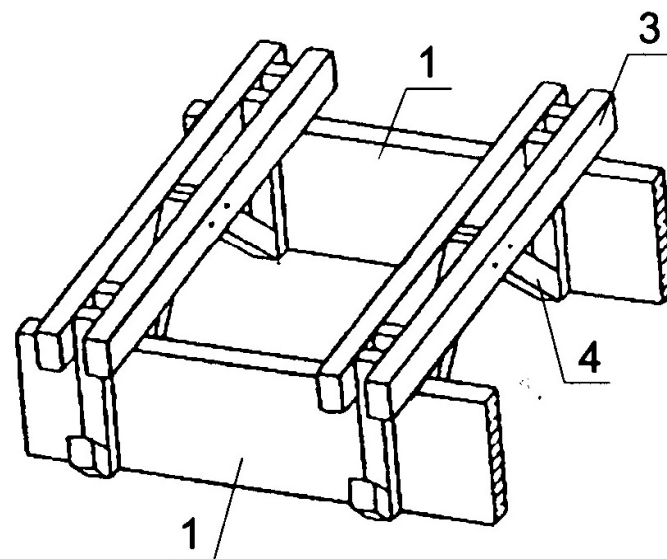
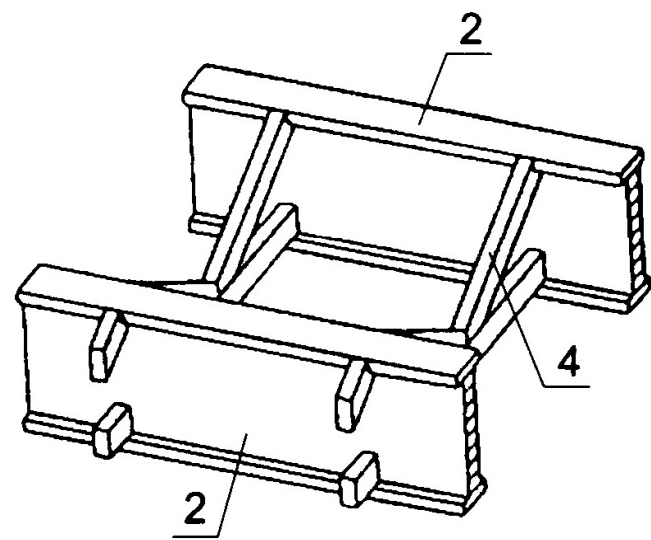
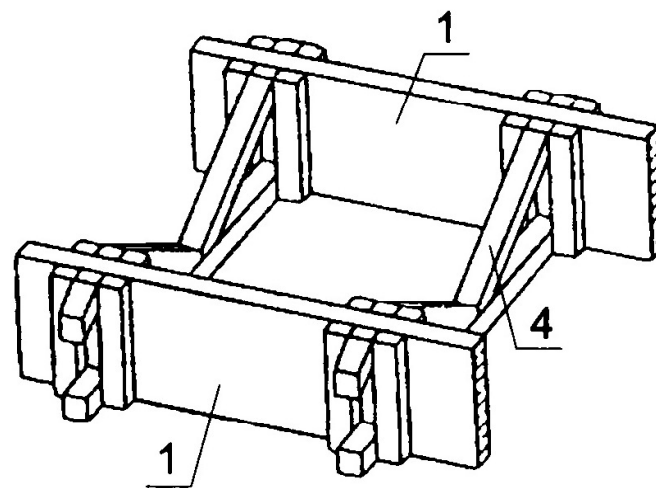
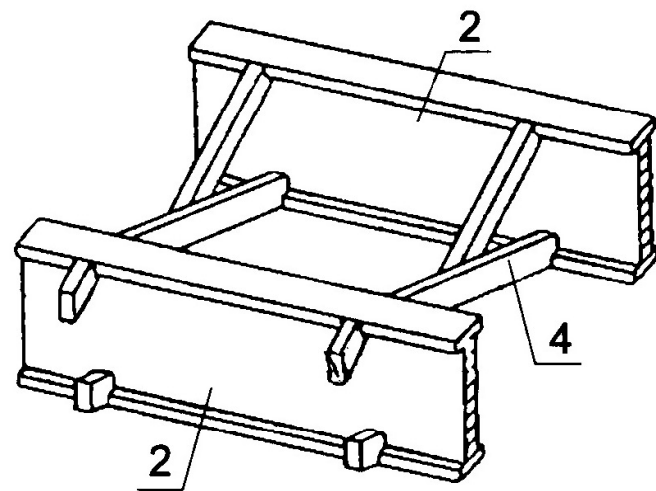
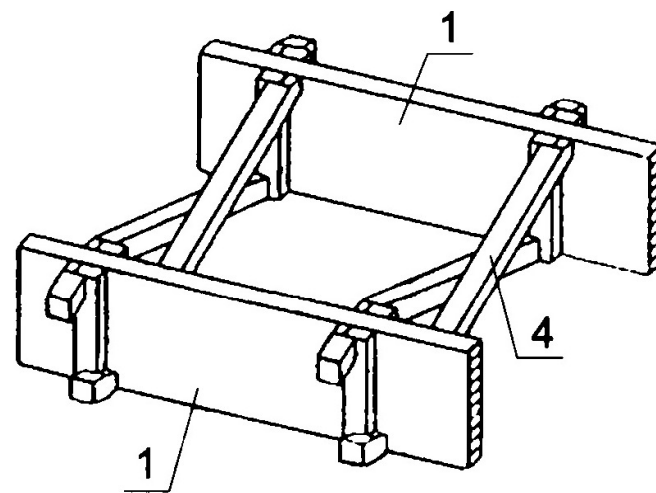
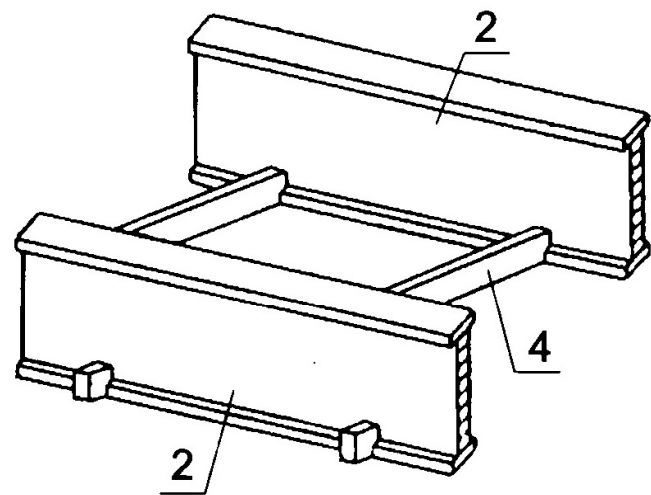
$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \quad (11.9)$$

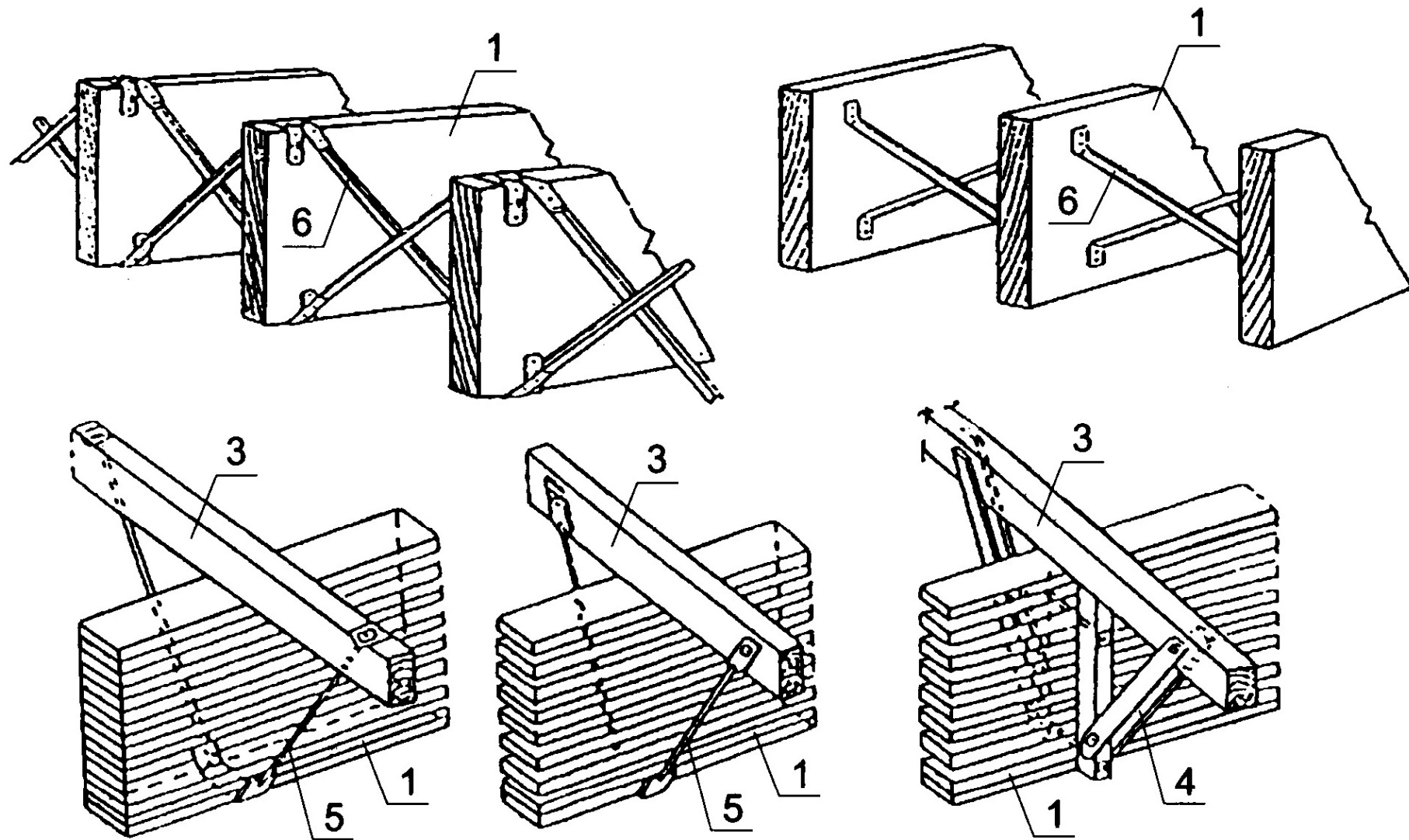
gdzie:

M_d — maksymalna wartość momentu zginającego w belce, N·mm,

h — wysokość belki, mm,

k_{crit} — współczynnik stateczności giętnej (patrz p. 6.1).





Rysunek 11.18. Zabezpieczenie belek przed utratą stateczności przy zginaniu wg [39]: 1 – belka drewniana o przekroju prostokątnym, 2 – belka drewniana o przekroju dwuteowym, 3 – płatew (belka stropowa), 4 – zastrzał drewniany, 5 – pręt stalowy, 6 – płaskownik

Stan graniczny użytkowości

Obliczanie konstrukcji ze względu na stany graniczne użytkowości polega na sprawdzeniu, czy przemieszczenia — spowodowane oddziaływaniami zewnętrznymi oraz zmianami wilgotności i temperatury — są zawarte w granicach ustalonych z uwagi na wymagania użytkowe.

(2) Ugięcie końcowe $w_{net,fin}$, poniżej prostej łączącej punkty podparcia belki należy określać ze wzoru:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (7.2)$$

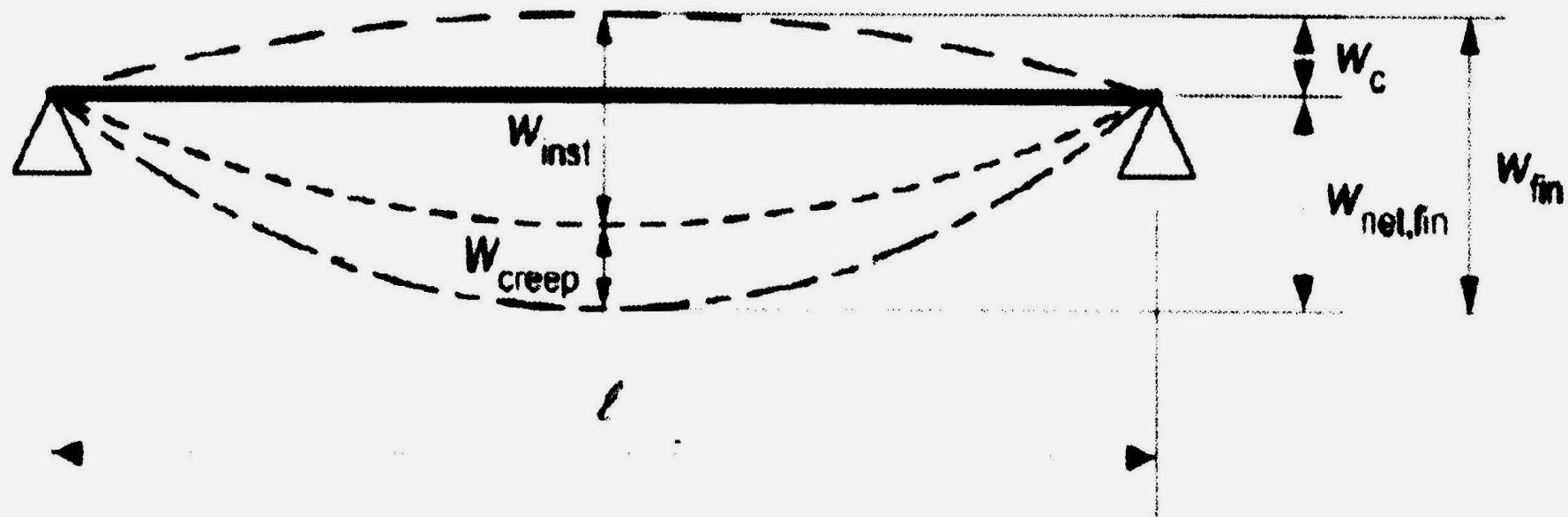
UWAGA: Zalecane zakresy granicznych ugięć belek o rozpiętości ℓ są podane w tablicy 7.2, w zależności od akceptowanej wielkości odkształcenia. Informacje dotyczące krajowych wielkości ugięć granicznych mogą być zamieszczone w Załączniku Krajowym.

Tablica 7.2 – Przykłady granicznych wartości ugięć belek

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Belka na dwóch podporach	$\ell / 300$ do $\ell / 500$	$\ell / 250$ do $\ell / 350$	$\ell / 150$ do $\ell / 300$
Wspornik	$\ell / 150$ do $\ell / 250$	$\ell / 125$ do $\ell / 175$	$\ell / 75$ do $\ell / 150$

(1) Składowe ugięcia wynikające z kombinacji oddziaływań (p. 2.2.3(5)), przedstawione na rysunku 7.1, definiuje się następująco:

- w_c – strzałka odwrotna (jeżeli występuje),
- w_{inst} – ugięcie chwilowe,
- w_{creep} – ugięcie wywołane pełzaniem,
- w_{fin} – ugięcie końcowe,
- $w_{net,fin}$ – końcowe ugięcie wynikowe.



Rysunek 7.1 - Składowe ugięcia

UGIĘCIA GRANICZNE WEDŁUG ZAŁĄCZNIKA KRAJOWEGO

Rodzaj obciążenia	Wykonane z wygięciem wstępnym			Wykonane bez wygięcia wstępnego						
	dźwigary pełnościenne	dźwigary kratowe		dźwigary pełnościenne	dźwigary kratowe		elementy stropu		krokwie, płatwie i inne elementy wiązań dachowych	deskowania dachowe
		obliczenia			obliczenia		nie tynkowane	tynkowane		
		przybliżone	dokładne		przybliżone	dokładne				
Stałe i zmienne	$l_d / 200$	$l_d / 400$	$l_d / 200$	$l_d / 300$	$l_d / 500$	$l_d / 300$	$l_d / 250$	$l_d / 300$	$l_d / 200$	$l_d / 150$

W obiektach starych, remontowanych dopuszcza się wartości $u_{net,fin}$ większe od podanych o 50%.

l_d — rozpiętość przęsła belki w osiach podpór lub wysięg wspornika.

$$\mathbf{U}_{fin} = \mathbf{U}_{fin,G} + \mathbf{U}_{fn,Q1} + \sum \mathbf{U}_{fin,Qi} \quad (2.2)$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{w przypadku oddziaływania stałego, } G, \quad (2.3)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{w przypadku oddziaływania zmiennego, } Q_1, \quad (2.4)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{w przypadku oddziaływań zmiennych, } Q_i \ (i > 1), \quad (2.5)$$

$u_{inst,G}, u_{inst,Q,1}, u_{inst,Q,i}$ – chwilowe odkształcenia, odpowiednio dla oddziaływań G, Q_1 i Q_i ,

$\psi_{2,1}, \psi_{2,i}$ – współczynniki dla quasi-stałych wartości oddziaływań zmiennych,

$\psi_{0,i}$ – współczynniki dla wartości kombinacji oddziaływań zmiennych,

k_{def} – współczynnik podany w Tablicy 3.2 dla drewna i materiałów drewnopochodnych, oraz w 2.3.2.2(3) i 2.3.2.2(4) dla złączy.

Tablica A 1.1 – Zalecane wartości współczynników ψ dla budynków

Oddziaływania	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Obciążenie zmienne w budynkach, kategoria (patrz EN 1991-1-1)			
Kategoria A: powierzchnie mieszkalne	0,7	0,5	0,3
Kategoria B: powierzchnie biurowe	0,7	0,5	0,3
Kategoria C: miejsca zebrania	0,7	0,7	0,6
Kategoria D: powierzchnie handlowe	0,7	0,7	0,6
Kategoria E: powierzchnie magazynowe	1,0	0,9	0,8
Kategoria F: powierzchnie ruchu pojazdów pojazdy ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategoria G: powierzchnie ruchu pojazdów 30 kN < ciężar pojazdu ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategoria H: dachy	0	0	0,0
Obciążenie budynków śniegiem (patrz EN 1991-1-3) ^{*)}			
Finlandia, Islandia, Norwegia, Szwecja	0,70	0,50	0,20
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H > 1000$ m ponad poziom morza	0,70	0,50	0,20
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H \leq 1000$ m ponad poziom morza	0,50	0,20	0,00
Obciążenie wiatrem (patrz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (nie pożarowa) w budynku (patrz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
UWAGA: Wartości ψ mogą być określone w załączniku krajowym ^{*)} Dotyczy krajów nie wymienionych poniżej – patrz miarodajne warunki miejscowe.			

Tablica 3.2 – Wartości współczynnika k_{def} dla drewna i materiałów drewnopochodnych

Materiał	Norma	Klasa użytkowania		
		1	2	3
Drewno lite	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Drewno klejone warstwowo	EN 14080	0,60	0,80	2,00
Deska LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Sklejka	EN 636			
	Część 1	0,80	-	-
	Część 2	0,80	1,00	-
	Część 3	0,80	1,00	250
Płyta OSB	EN 300			
	OSB/2	2,25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Płyta wiórowa	EN 312			
	Część 4	2,25	-	-
	Część 5	2,25	3,00	-
	Część 6	1,50	-	-
	Część 7	1,50	2,25	-
Płyta pilśniowa, twarda	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	-	-
	HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	-
Płyta pilśniowa, półtwarda	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-	-
	MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	-
Płyta pilśniowa, MDF	EN 662-5			
	MDF.LA	2,25	-	-
	MDF.HLS	2,25	3,00	-

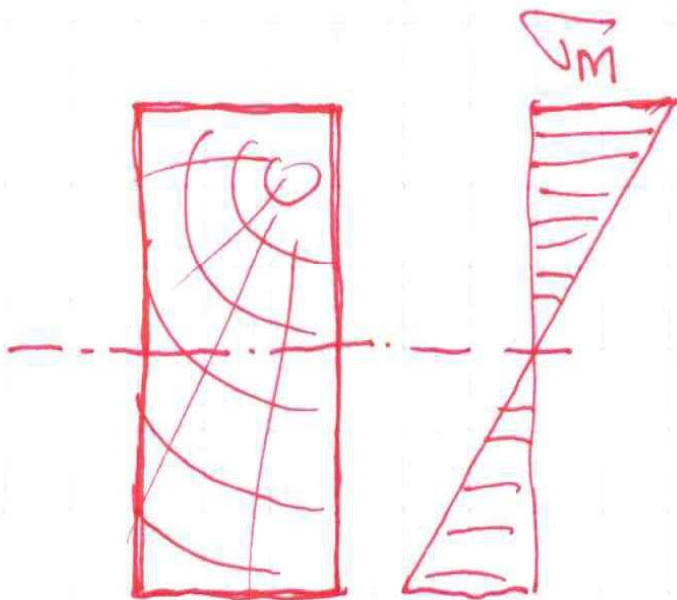
Tablica 3.2 – Wartości współczynnika k_{def} dla drewna i materiałów drewnopochodnych

Materiał	Norma	Klasa użytkowania		
		1	2	3
Drewno lite	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Drewno klejone warstwowo	EN 14080	0,60	0,80	2,00

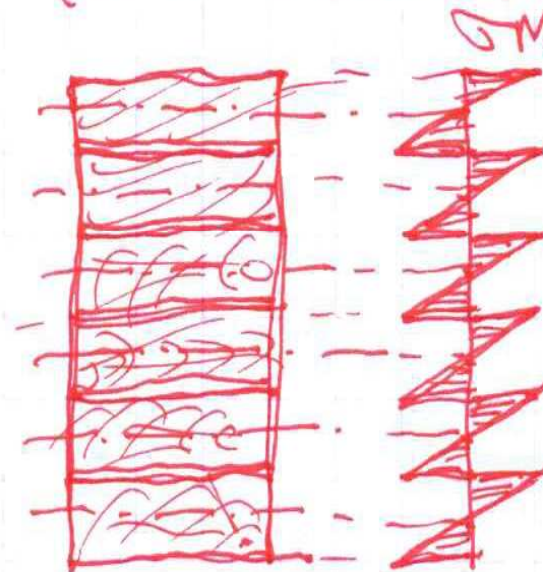
ZADANIA PODSTAWOWE - WYBRANE

1A / ROZKŁAD NAPIĘZEŃ OD ZGINANIA

PRZĘKROJ PŁYŃSKI



PRZĘKROJ ZKŁADNY
(BEZ WSPÓŁPRACY ELEMENTÓW)



2A/ określić długość przęta który niegnie w momencie zerwania ro przywiesz ciężaru własnego

SCHEMAT PRĘTA



$$N_{Ed} = L \cdot n_{Ed}; n_{Ed} = \gamma_s \cdot A$$

warunek nośności

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} \leq f_y$$

$$\frac{L \cdot \gamma_s \cdot A}{A} \leq f_y$$

$$L \cdot \gamma_s \leq f_y$$

$$L \leq \frac{f_y}{\gamma_s} \left[\frac{\text{MPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kN}} \right]$$

$$L \leq \frac{f_y \cdot 1000}{\gamma_s} \left[\frac{\text{kN} \cdot \text{m}^3}{\text{kN} \cdot \text{m}^2} \right]$$

$$L \leq \frac{235 \times 1000}{78,5} = 2994 [\text{m}]$$