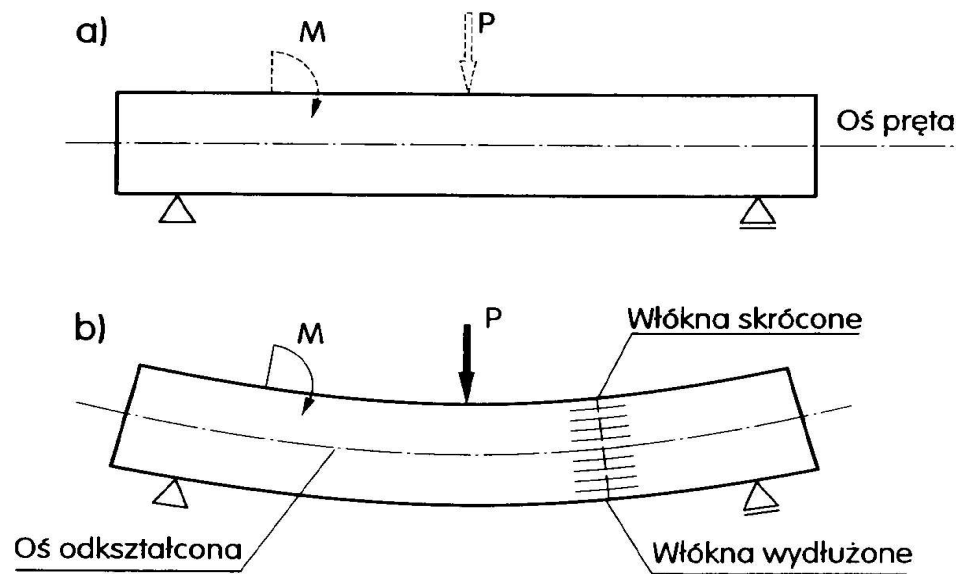


WIADOMOŚCI OGÓLNE

O **zginaniu** mówimy wówczas, gdy prosta początkowo oś pręta ulega pod wpływem obciążenia zakrzywieniu, przy czym włókna pręta od strony wypukłej ulegają wydłużeniu, a od strony wklęsłej skróceniu.

Zginaniu podlegają te elementy konstrukcji prętowych, w których spośród sił przekrojowych występują:

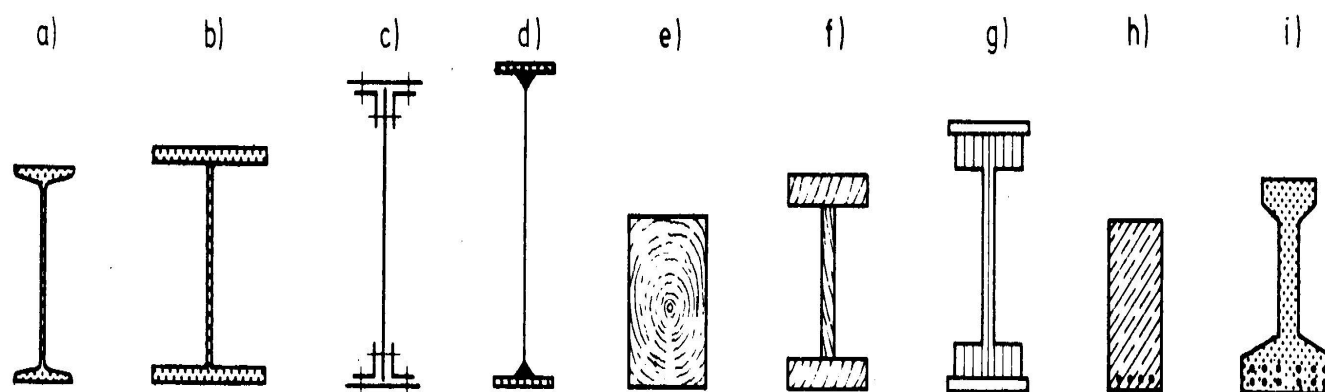
- Wyłącznie momenty zginające M – **zginanie czyste**
- Równocześnie momenty zginające M i siły poprzeczne V – **zginanie ze ścinaniem**



Rys. 1.

Elementy zginane

Zginanie czyste występuje w konstrukcjach budowlanych bardzo rzadko, nie ma więc znaczenia praktycznego. Zwykle ten drugi przypadek zginania (zginanie ze ścinaniem) występuje w belkach, które są elementami najczęściej tworzącymi konstrukcje budowlane. Mogą one być elementami nośnymi stropów, schodów, konstrukcji dachów, belek nadproży itd. Obciążenie belki jest najczęściej prostopadłe do jej osi, więc w przekrojach poprzecznych występują zarówno momenty zginające, jak i siły poprzeczne. Ponieważ zazwyczaj to właśnie moment zginający wywiera decydujący wpływ na sposób pracy belek, określa się je mianem elementów zginanych. Można stosować różne przekroje poprzeczne belek zginanych, pokazano je na rys. 2.

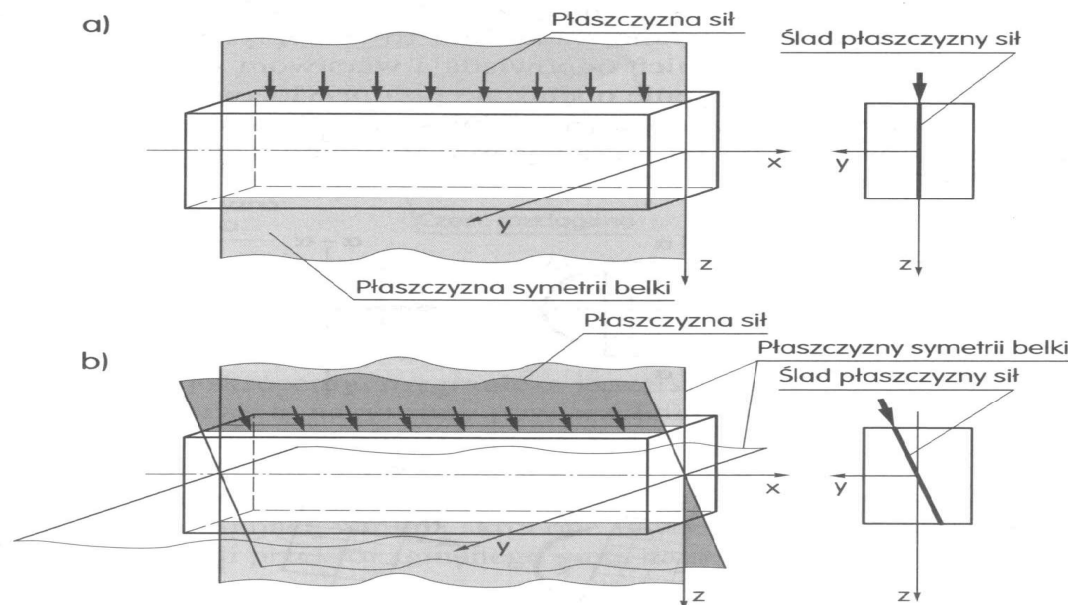


Rys. 2.

Elementy zginane – belki zginane

Przekroje poprzeczne belek stosowanych w konstrukcjach budowlanych najczęściej posiadają osi symetrii (dwie lub rzadziej jedną), to są to osie główne środkowe – główne osie bezwładności przekroju. W zależności od tego, czy płaszczyzna sił jest równocześnie płaszczyzną symetrii belki (ślad płaszczyzny sił pokrywa się wówczas z jedną z osi głównych środkowych przekroju) czy też nie, rozróżniamy:

- Zginanie proste – rys. 3a
- Zginanie ukośne – rys. 3b



Rys. 3.

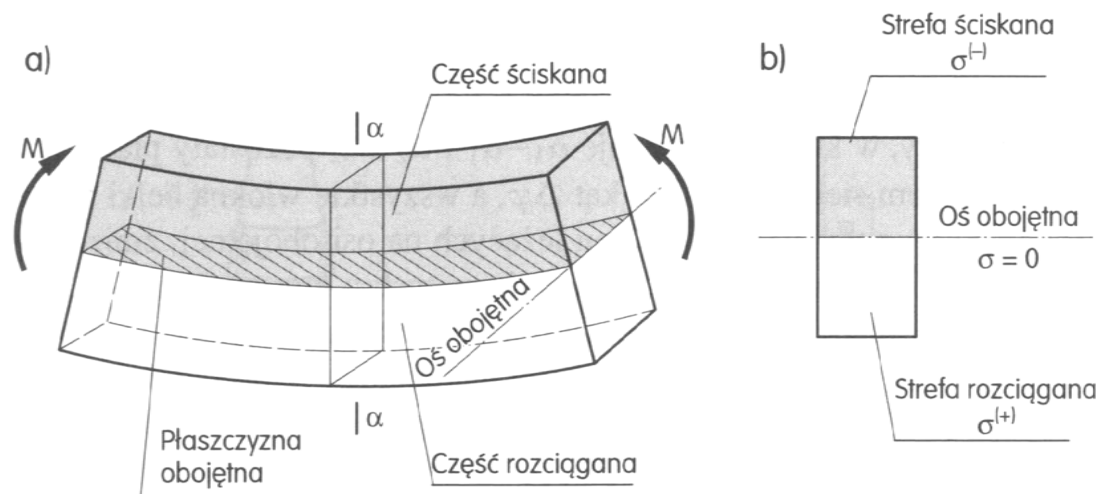
Zginanie proste i ukośne

Jak wcześniej wspomniano włókna od strony wypukłej odkształconego pręta ulegają wydłużeniu, a od strony wklęsłej skróceniu, rozgranicza je warstwa włókien, których długość nie ulega zmianie. Warstwę tę nazywamy **powierzchnią obojętną**, a jej ślad w przekroju poprzecznym nosi nazwę **osi obojętnej** – rys. 4.

Płaszczyzna obojętna dzieli element zginany na dwie części (rys. 4.):

- **Rozciągana** – obejmująca włókna wydłużone na skutek odkształcenia
- **Ściskana** – obejmująca włókna skrócone w wyniku odkształcenia pręta.

Oś obojętna dzieli przekrój zginanego pręta na dwie strefy: ściskaną i rozciąganą (rys. 4 i 5.).

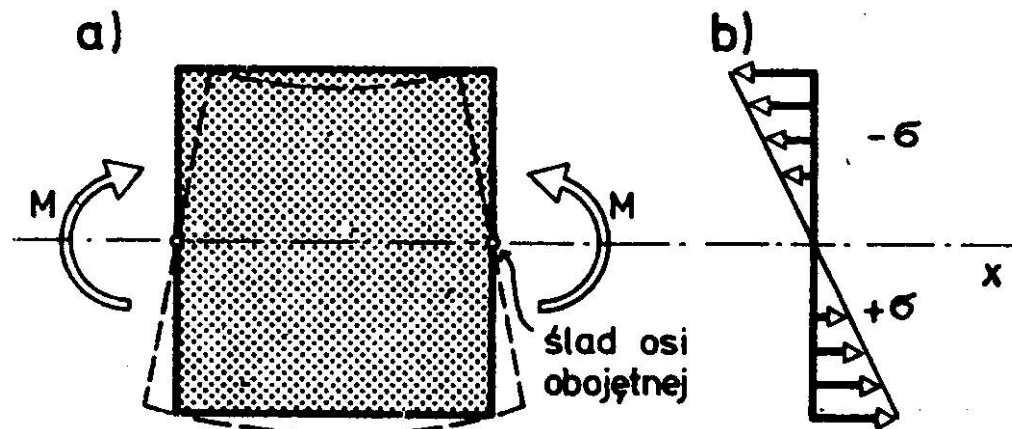


Rys. 4.

Oś obojętna
Strefa rozciągana
i ściskana

Na podstawie dokonanych spostrzeżeń można stwierdzić, że we włóknach zginanego pręta występują naprężenia normalne σ prostopadłe do pł. przekroju, będą to naprężenia różnych znaków:

- dodatnie σ^+ – rozciągające, w strefie rozciąganej przekroju poprzecznego pręta zginanego,
- ujemne σ^- – ściskające, w strefie ściskanej przekroju poprzecznego pręta zginanego,
- równe zero – na osi obojętnej przekroju.



Oś obojętna

**Strefa rozciągana
i ściskana**

Naprężenia normalne

Na podstawie prawa Hooke'a, który wyraża związek pomiędzy naprężeniami i odkształceniami można wyprowadzić wzór na naprężenia normalne σ w dowolnym włóknie belki (pręta) zginanego oddalonym o z_i od osi obojętnej:

$$\sigma_i = \frac{M z_i}{I_y},$$

w którym:

M – moment zginający w rozpatrywanym przekroju pręta,

z_i – współrzędna włókna i ,

I_y – moment bezwładności pola przekroju poprzecznego względem osi obojętnej – względem osi głównej środkowej przekroju, która pokrywa się ze śladem płaszczyzny obojętnej w przekroju poprzecznym pręta zginanego.

Naprężenia σ będą największe wtedy, gdy z_i będzie największe, a więc w skrajnych włóknach górnych i dolnych

$$\sigma_g = -\frac{M}{\frac{I_y}{z_g}}, \quad \sigma_d = +\frac{M}{\frac{I_y}{z_d}},$$

NAPRĘŻENIA PRZY ZGINANIU

Z wytrzymałości materiałów wiadomo, że wyrażenia:

$$W_g = \frac{I_y}{z_g}, \quad W_d = \frac{I_y}{z_d},$$

są wskaźnikami wytrzymałości na zginanie przekroju względem osi obojętnej.

Wobec powyższego:

$$\sigma_g = -\frac{M}{W_g}, \quad \sigma_d = +\frac{M}{W_d}$$

Jeżeli przekrój belki jest również symetryczny względem osi obojętnej, wówczas:

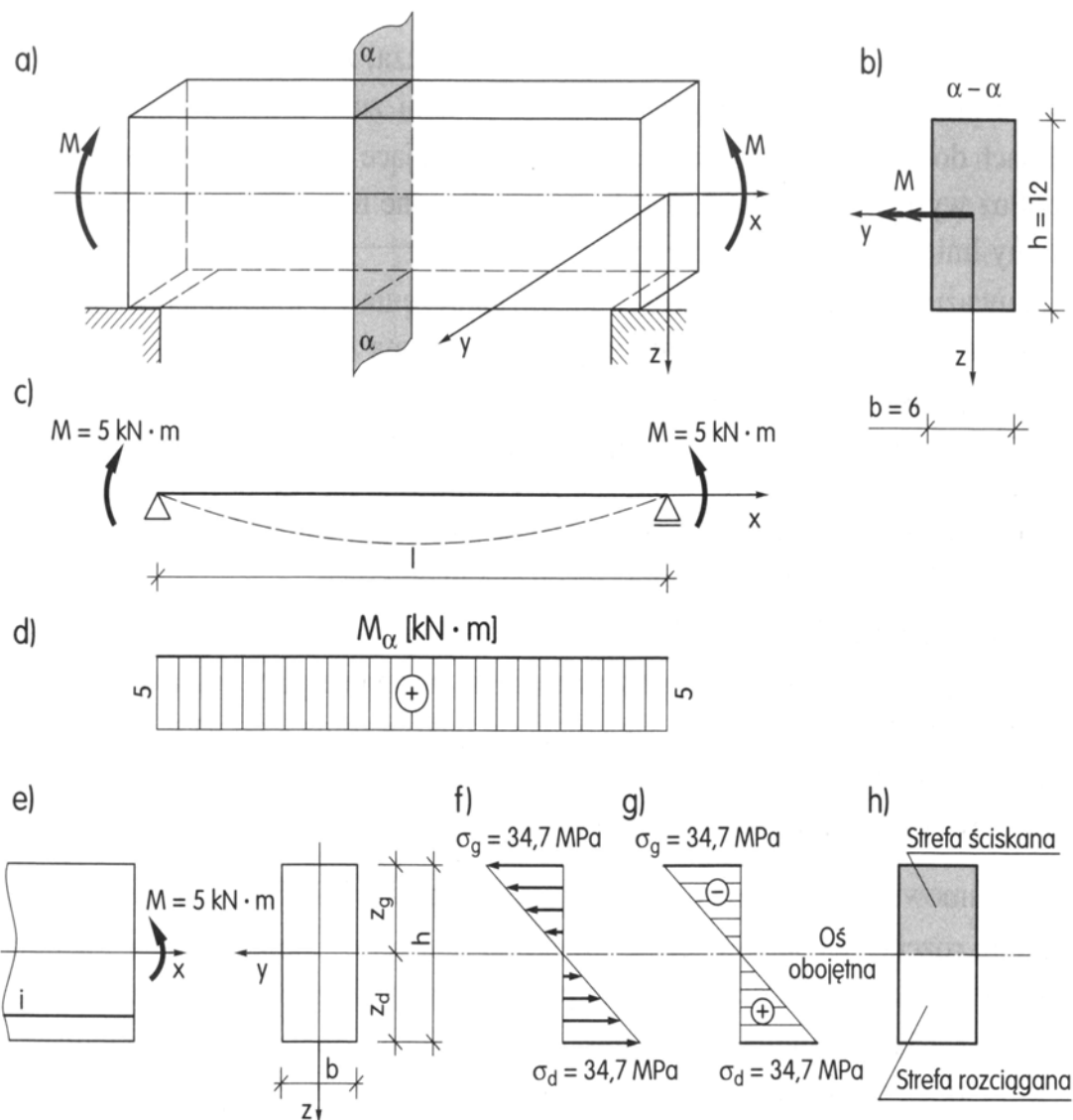
$$W_g = W_d = W_y,$$

zaś naprężenia maksymalne we włóknach skrajnych mają tę samą wartość liczbową, mianowicie:

$$\sigma_{max} = \mp \frac{M}{W_y}$$

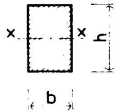
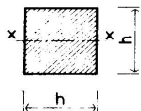
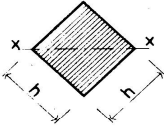
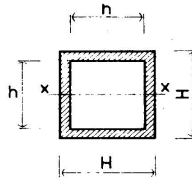
PODSTAWOWE WZORY

CZyste ZGINAIE

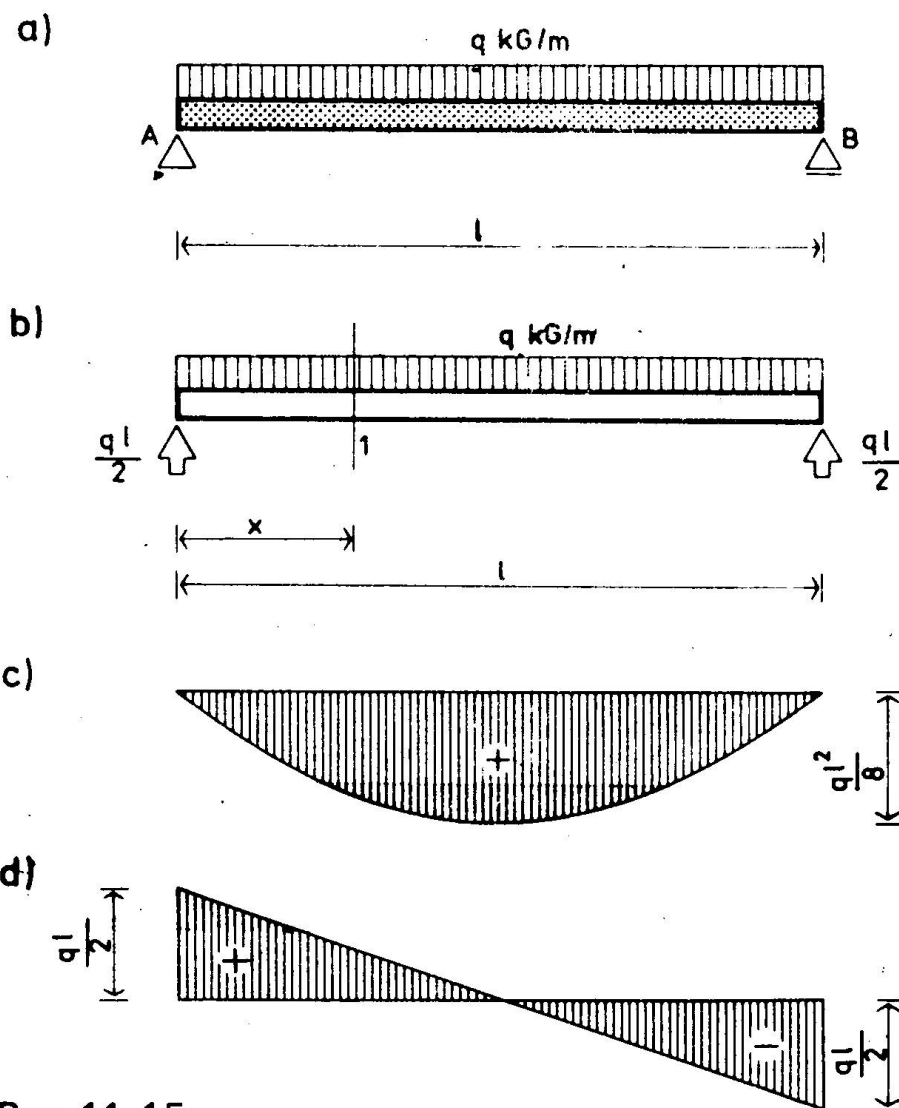


PRZYKŁAD OBLICZENIOWY WYKRESY NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH

CHARAKTERYSTYKI WYBRANYCH PRZEKROJÓW POPRZECZNYCH

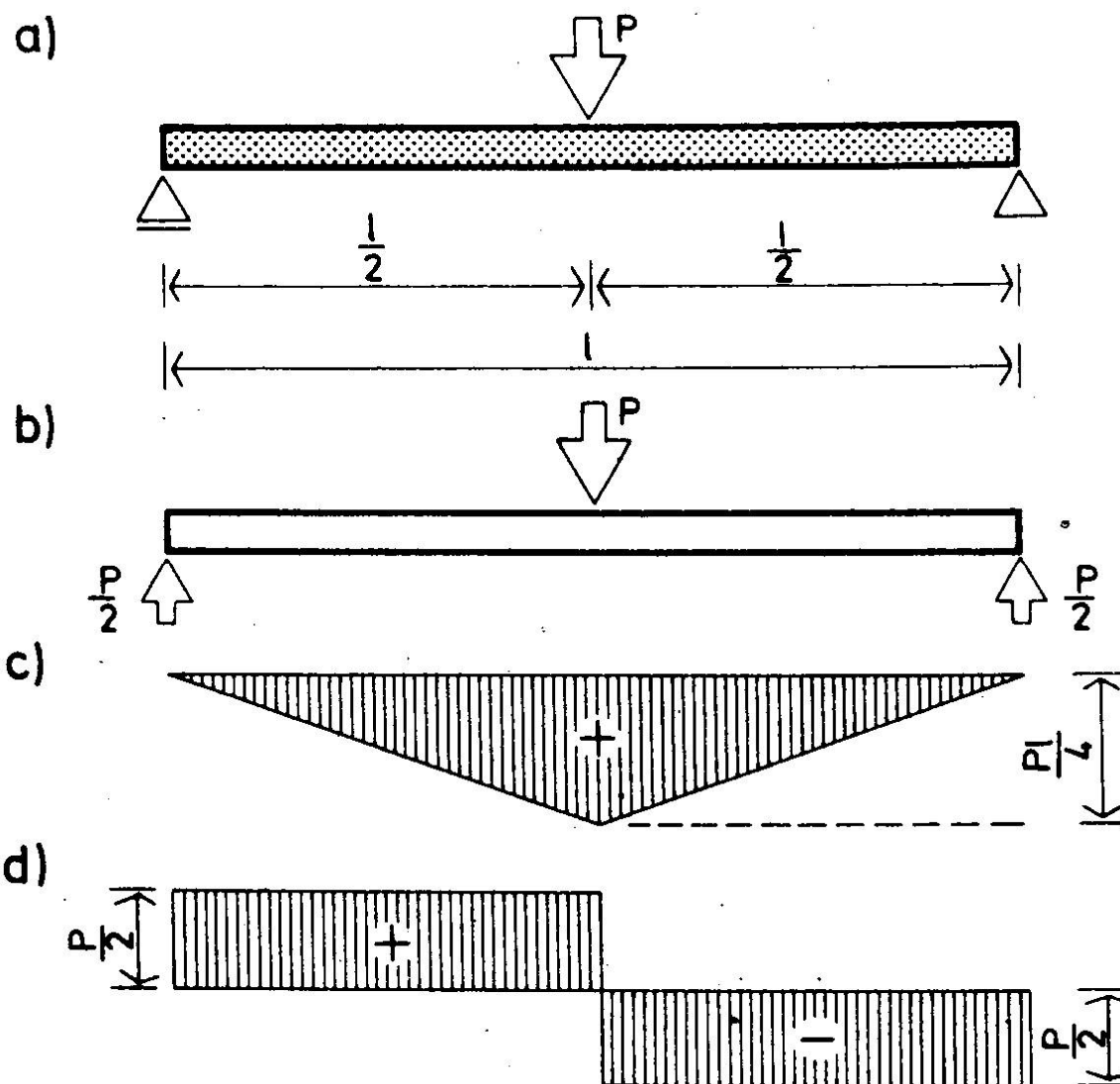
Przekrój	Powierzchnia przekroju A	Położenie środka ciężkości c_x	Moment bezwładności I_x	Wskaźnik wytrzymałości na zginanie W_x
	bh	$\frac{h}{2}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$
	h^2	$\frac{h}{2}$	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{h^3}{6}$
	h^2	$\frac{h}{\sqrt{2}}$	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{\sqrt{2}}{12} h^3 = 0,12h^3$
	$H^2 - h^2$	$\frac{H}{2}$	$\frac{H^4 - h^4}{12}$	$\frac{H^4 - h^4}{6H}$

PARAMETRY
GEOMETRYCZNE
PRZEKROJÓW



Rys. 11-15

SIŁY WEWNĘTRZNE BELKA PROSTA (WOLNOPODPARTA)



SIŁY WEWNĘTRZNE BELKA PROSTA (WOLNOPODPARTA)

Jak podano wyżej wskaźnik wytrzymałości przekroju prostokątnego W_y określa się ze wzoru:

$$W_y = \frac{b h^2}{6},$$

Warunek stanu granicznego nośności (wytrzymałości) belki zginanej z drewna:

$$\sigma_{max} = \mp \frac{M}{W_y} \leq f_{m,d}$$

Wzór na określenie potrzebnej wysokości belki zginanej z drewna:

$$h \geq \sqrt{\frac{6 M}{b f_{m,d}}}$$

Projektowanie
belek zginanych
z drewna

SGN – STAN
GRANICZNY
NOŚNOŚCI

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} f_{m,k}}{\gamma_M}$$

$f_{m,d}$ – WYTRZYMAŁOŚĆ OBLICZENIOWA DREWNA NA ZGINANIE

$f_{m,k}$ – WYTRZYMAŁOŚĆ CHARAKTERYSTYCZNA DREWNA NA ZGINANIE

$f_{m,k}$ = WARTOŚCI LICZBOWEJ OKREŚLAJĄCEJ KLASĘ DREWNA

np. **C24** \longrightarrow $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

γ_M CZĘŚCIOWY WSPÓŁCZYNNIK WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU

k_{mod} WSPÓŁCZYNNIK MODYFIKUJĄCY WYTRZYMAŁOŚĆ ZALEŻNY
OD CZASU TRWANIA OBCIĄŻENIA I WILGOTNOŚCI – KLASY
UŻYTKOWANIA KONSTRUKCJI PRZYJMOWANY DLA OBCIĄŻENIA
O NAJKRÓTSZYM CZASIE DZIAŁANIA

SGN
KONSTRUKCJI
DREWNIANYCH
WYTRZYMAŁOŚĆ
OBLICZENIOWA
DREWNA NA
ZGINANIE

Tablica 2.3 – Zalecane wartości częściowych współczynników wartości materiału (γ_M)

Stany graniczne nośności	γ_M
Kombinacje podstawowe	
Drewno lite	1,3
Drewno klejone warstwowo	1,25
LVL, sklejka, płyty OSB	1,2
Płyty wiórowe	1,3
Płyty pilśniowe twarde	1,3
Płyty pilśniowe półtwarde	1,3
Płyty pilśniowe miękkie	1,3
Złącza	1,3
Płytki kolczaste	1,25
Kombinacje wyjątkowe	1,0

SGN
KONSTRUKCJI
DREWNIANYCH

WSPÓŁCZYNNIK γ_M

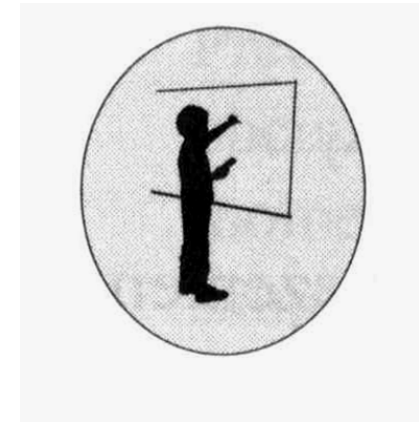
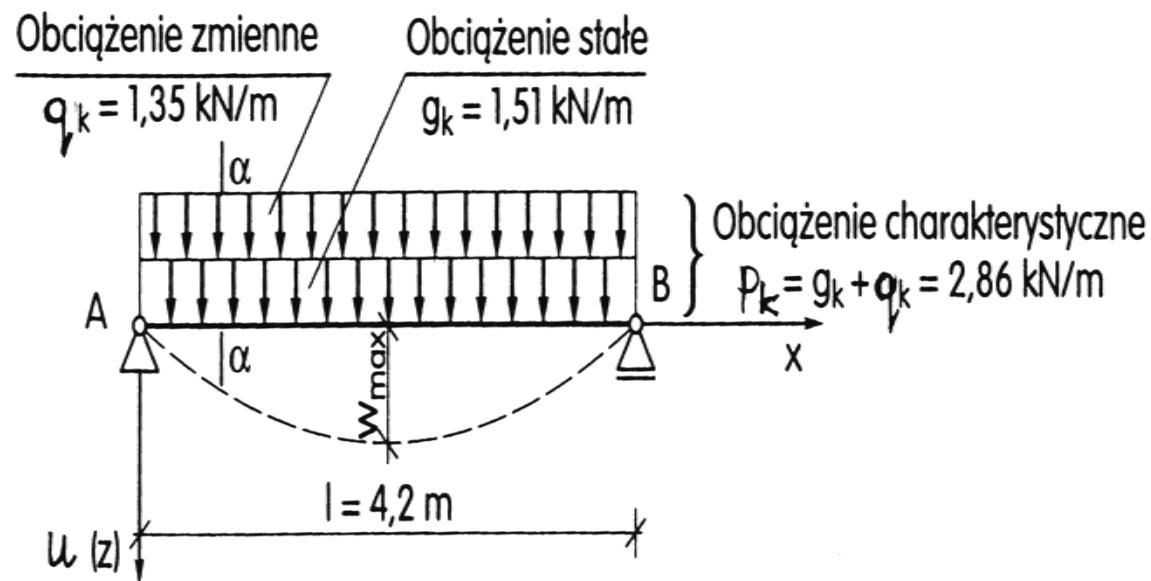
Tablica 3.1 – Wartości współczynnika k_{mod}

Materiał	Norma	Klasa użytkowa	Klasa czasu trwania obciążenia				
			Działanie stałe	Działanie długo-terminowe	Działanie o średniej długości	Działanie krótko-terminowe	Działanie chwilowe
Drewno lite	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,60	0,55	0,65	0,70	0,90
Drewno klejone warstwowo	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

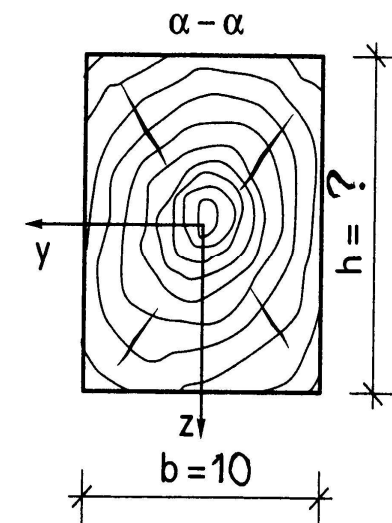
Przykładowo dla drugiej klasy użytkowania konstrukcji przy projektowaniu belki stropu w pomieszczeniach mieszkalnych, gdzie najkrócej działającym obciążeniem jest obciążenie zmienne – użytkowe zaliczane do średniotrwałej klasy trwania obciążenia $k_{mod} = 0,80$

SGN
KONSTRUKCJI
DREWNIANYCH
WSPÓŁCZYNNIK
 k_{mod}

PRZYKŁAD 1. Zaprojektować (ze względu na SGN – Stan Graniczny Nośności) belkę stropu drewnianego o schemacie i obciążeniu przedstawionym na rysunku poniżej. Strop jest projektowany w budynku mieszkalnym, wstępnie przyjęto szerokość belki $b = 100$ mm oraz klasę drewna iglastego C24. Klasa użytkowania konstrukcji – druga.



PRZEKRÓJ POPRZECZNY BELKI



- WYTRZYMAŁOŚĆ OBLICZENIOWA DREWNA KLASY C24 NA ZGINANIE PRZY UWZGLĘDNIENIU 2 KLASY UŻYTKOWANIA KONSTRUKCJI;
WYNOŚ: $k_{mod} = 0,8$; $\gamma_M = 1,30$

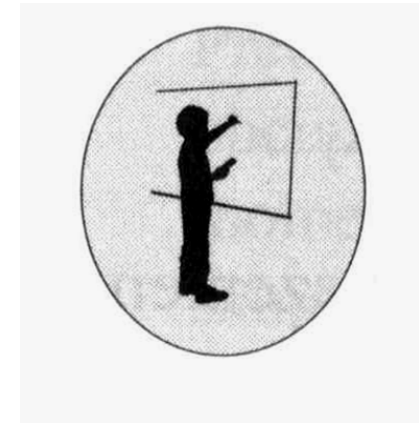
$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \times 24}{1,3}$$

$$\underline{f_{m,d} = 14,77 \text{ N/mm}^2}$$

- KOMBINACJA STR DLA OBŁĄZEŃ
 $q_k = 1,51 \text{ kN/m}$ ORAZ $q_k = 1,35 \text{ kN/m}$

$$p_d = 0,85 \times 1,35 \times 1,51 + 1,50 \times 1,35$$

$$\underline{p_d = 3,76 \text{ kN/m}}$$



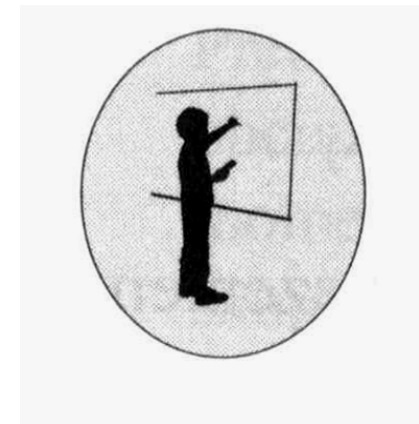
- MAKSYMALNA WARTOŚĆ OBLICZENIOWA MOMENTU ZGINAJĄCEGO

$$M_y = \frac{Pl^2}{8} = \frac{3.76 \times 4.2^2}{8} = \underline{8.30 \text{ kNm}}$$

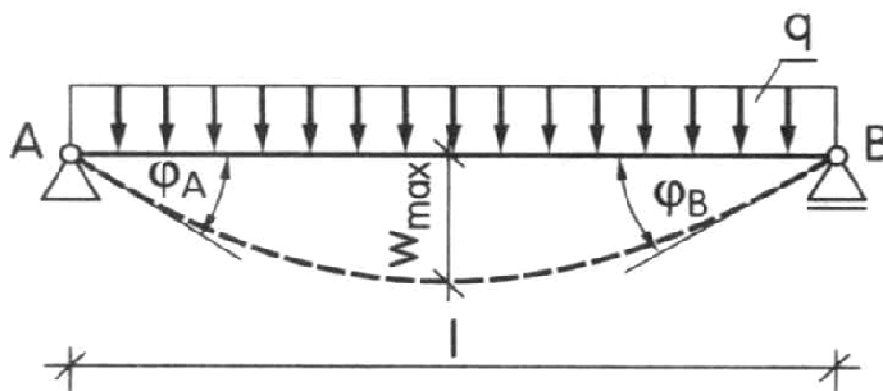
- MINIMALNA WYSOKOŚĆ BELKI

$$h \geq \sqrt{\frac{6M_y}{b \cdot f_{m,d}}} = \sqrt{\frac{6 \times 8.30 \times 10^6}{100 \times 14.77}} = \underline{184 \text{ mm}}$$

PRZYJĘTO WYSOKOŚĆ BELKI $h = 200 \text{ mm}$
 BELKA O WYMIARACH PRZESZKŁU POPRZECZNEGO
 $b \times h = 100 \times 200 \text{ mm}$ SPEŁNIA WYMAGANIA
 STANU GRANICZNEGO NAJWIĘKSZEGO



Przez linię ugięcia rozumiemy zakrzywioną oś belki powstałą na skutek obciążenia. Odległość między punktami na osi belki przed i po odkształceniu nazywamy ugięciami lub rzędnymi linii ugięcia, zwanej także osią odkształconą.

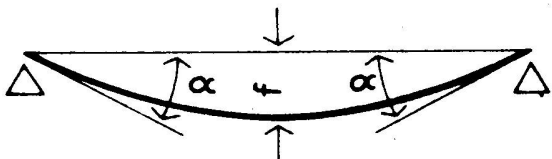
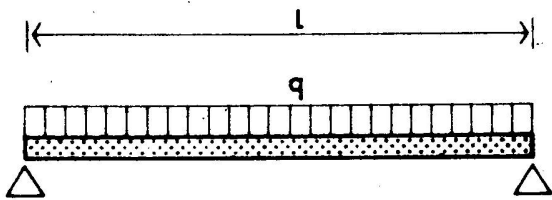
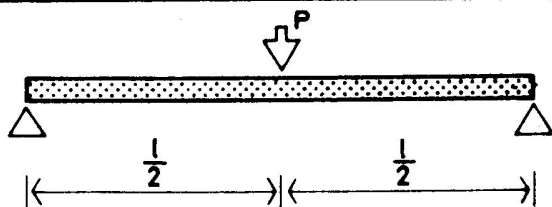


Przy projektowaniu konstrukcji nie można dopuścić do zbyt dużych ugięć belek nie tylko ze względów estetycznych, lecz także z uwagi na właściwe spełnienie funkcji, na połączeniach belek z innymi elementami, możliwość uszkodzenia elementów przylegających do konstrukcji, powstania zbyt szerokich rys w strefie rozciąganej np. na powierzchni tynku, w belkach żelbetowych, możliwość utraty szczelności pokrycia dachowego. W przypadku przekroczenia wartości dopuszczalnej (granicznej), przekrój belki trzeba odpowiednio zwiększyć.

Odkształcenia belek zginanych Linia ugięcia

Maksymalne ugięcia nie mogą przekraczać określonych przepisami wartości zależnych od materiału belki jej rozpiętości i przeznaczenia. Dlatego przy projektowaniu belek należy po sprawdzeniu **stanu granicznego nośności** – obliczeniu potrzebnego przekroju poprzecznego belki należy również sprawdzić maksymalne ugięcie tzn. sprawdzić warunek **stanu granicznego użyteczności** w postaci:

$$u_{max} = w_{max} = f_{max} \leq w_{lim},$$

Lp.		α	f
1		$\frac{1}{24} \frac{q l^3}{EI}$	$\frac{5}{384} \frac{q l^4}{EI}$
2		$\frac{1}{16} \frac{P l^2}{EI}$	$\frac{P l^3}{48 EI}$

SGU – stan graniczny użyteczności

Maksymalna strzałka ugięcia wybranych belek

Ugięcie maksymalne belki wolno podpartej przy obciążeniu ciągłym wynosi:

$$f_{max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI}$$

Moment maksymalny w tej belce jest równy $M_{max} = \frac{ql^2}{8}$.

Wartość tę można wprowadzić do wzoru na ugięcie belki i zapisać go następująco: $f_{max} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{5l^2}{48} \cdot \frac{ql^2}{8}$ lub w innej postaci:

$$f_{max} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{max} l^2}{EI}$$

Ostatni wzór można stosować do obliczania ugięcia w przypadkach, kiedy obciążenie belki jest złożone i obliczanie ugięcia na podstawie prostych wzorów jest uciążliwe lub niemożliwe. Otrzymany wynik jest wystarczający do obliczeń inżynierskich, chociaż jest obarczony niewielkim błędem.

Przeprowadzając obliczenia ugięć należy szczególną uwagę zwracać, aby wszystkie wielkości występujące we wzorach wyrażać w spójnych („tych samych”) jednostkach, najlepiej w **niutonach [N]** i **milimetrach [mm]**. Obciążenie **q [N/mm]**; moment **M [Nmm]**; rozpiętość **l [mm]**; Moduł Young'a **E [N/mm²]** moment bezwładności **I [mm⁴]**. W takiej sytuacji otrzymuje się ugięcie **f w [mm]**.

Odkształcenia belek zginanych Linia ugięcia

WZÓR PRZYBLIŻONY DLA BELEK WOLNO PODPARTYCH

Stan graniczny użytkowości belek stropu drewnianego

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + \sum u_{fin,Qi} \leq u_{net,fin}$$

- Obciążenie stałe g i/lub G

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def})$$

- Obciążenie zmienne wiodące Q1

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1} (1 + \psi_{2,1} k_{def})$$

- Pozostałe obciążenia zmienne

$$u_{fin,Qi} = u_{inst,Qi} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad (i > 1)$$

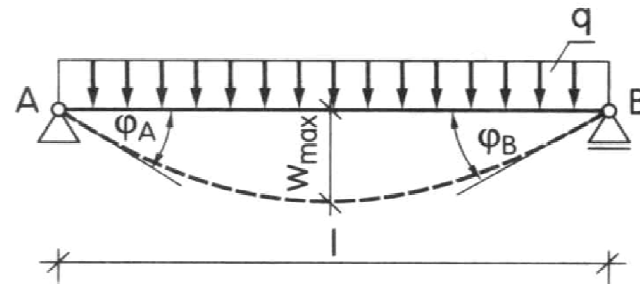
- Ugięcie graniczne

$$w_{net,fin} = \frac{l_0}{300} \quad \text{dla elementów stropów tynkowanych}$$

$$w_{net,fin} = \frac{l_0}{250} \quad \text{dla elementów stropów nie tynkowanych}$$

SGU

W PROJEKTOWANIU
KONSTRUKCJI
DREWNIANYCH



$$u_{inst,G} = \frac{5}{384} \frac{g_k l^4}{E_{0,mean} I_y}; \quad u_{inst,Q} = \frac{5}{384} \frac{q_{k,i} l^4}{E_{0,mean} I_y}$$

g_k – obciążenie stałe o wartości charakterystycznej [N/mm],

$q_{k,i}$ – obciążenie zmienne o wartości charakterystycznej [N/mm],

$l = l_o$ – rozpiętość obliczeniowa belki [mm],

I_y – moment bezwładności przekroju poprzecznego [mm⁴],

Dla przekroju prostokątnego $b \times h$ moment bezwładności wyraża się wzorem (oś $y - y$ jest osią obojętną przekroju, wymiar h jest prostopadły do osi y):

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

**Ugięcie chwilowe
 u_{inst} belki
wolnopodpartej
z drewna
o przekroju
prostokątnym**

$E_{0, mean}$ – średni moduł sprężystości podłużnej (wzdłuż włókien) dla danej klasy drewna [N/mm^2],

$$1 \text{ kN/mm}^2 = 1000 \text{ N/mm}^2$$

Właściwości		Ozna- czenie	Klasa drewna konstrukcyjnego litego, iglastego					
			C18	C22	C24	C27	C30	
				[N/mm ²] ≡ [MPa]				
Wytrzymałość na zginanie, charakterystyczna		f _{m,k}	18	22	24	27	30	
Średni moduł sprężystości wzdłuż włókien		E _{0,mean}	[kN/mm ²] ≡ [GPa]					
			9	10	11	11,5	12	

**Klasy
wytrzymałości
drewna iglastego
konstrukcyjnego
– wybrane
charakterystyki**

**Wartość
współczynnika
 k_{def}**

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

$k_{\text{def}} = 0,8$

Najczęściej jest przyjmowana druga klasa użytkowania konstrukcji.

**KLASA UŻYTKOWANIA DRUGA – WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA
OTACZAJĄCEGO POWIETRZA
MNIEJSZA OD 85%**

Wartości współczynników ψ_2 oraz ψ_0 ustala się według normy PN-EN 1990

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 zebrań	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 $30 \text{ kN} < \text{ciężar pojazdu} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Kategoria H: dachy	0	0	0,0
Obciążenie budynków śniegiem (patrz EN 1991-1-3) ^{a1)}			
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	0,20
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 ^{a1)} Dotyczy krajów nie wymienionych poniżej – patrz miarodajne warunki miejscowe.			

Wartości współczynników:

ψ_2 oraz ψ_0

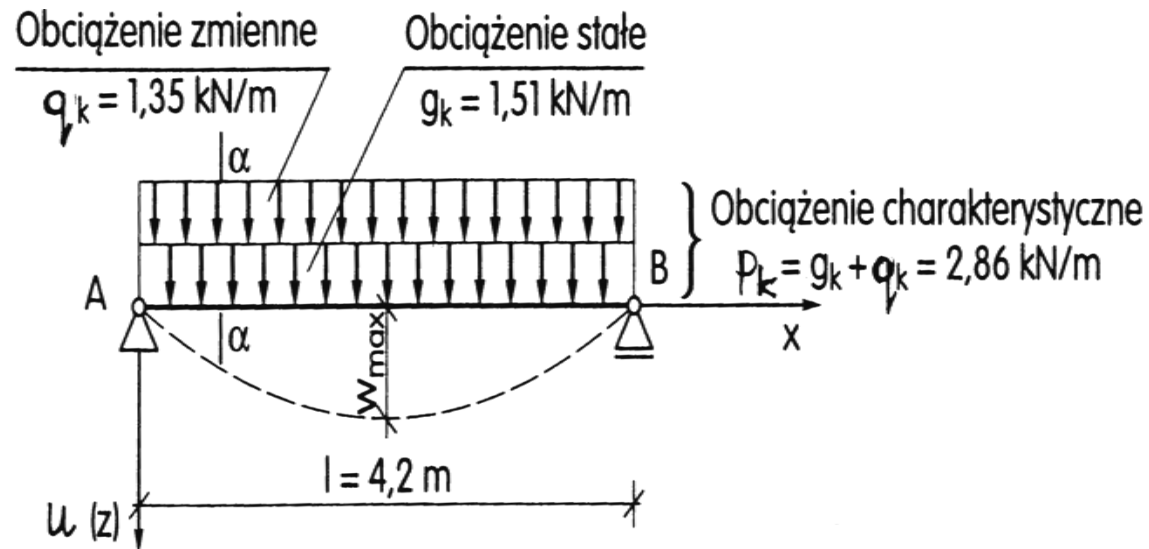
KATEGORIA A:

Powierzchnie mieszkalne

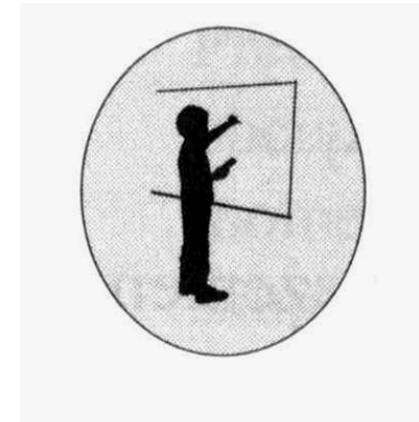
$$\psi_2 = 0,3$$

$$\psi_0 = 0,7$$

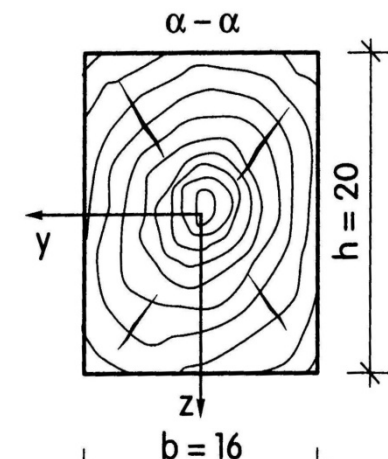
PRZYKŁAD 2. Sprawdzić, czy przedstawiona na rysunku poniżej belka stropu drewnianego spełnia warunek sztywności – SGU.



Belkę zaprojektowano z drewna iglastego klasy C27. Projektowany strop jest stropem międzykondygnacyjnym w pomieszczeniach mieszkalnych, w wersji pierwszej będzie on otynkowany, zaś w wersji drugiej nie będzie on tynkowany, klasa użytkowania – 2.



PRZEKRÓJ POPZECZNY BELKI



MOMENT BEZWŁADNOŚCI PRZESZCZĄDZU BELKI WZGLĘDEM OŚI PROSTOKĄTNEJ DO PŁASZCZYZNY OBCIĄŻENIA

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{16 \times 20^3}{12} = 10667 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1.0667 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

ŚREDNIA WARTOŚĆ MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI PODKURZNEJ (WZDŁUŻ WŁÓKIEŃ DREWNA) KLASY C27 $E_{0,mean} = 11.5 \text{ GPa}$

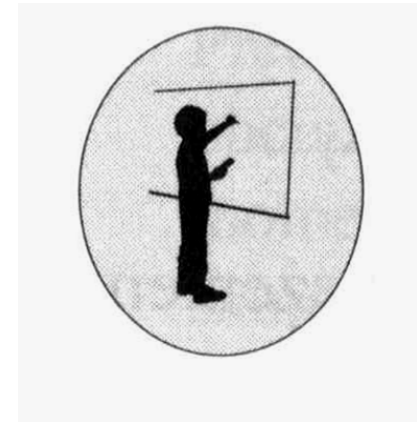
$$E_{0,mean} = 11500 \text{ N/mm}^2$$

CIĘŻAR CHWILOWE (DOPŁATNE) WYWOŁANE OBCIĄŻENIEM STAŁYM $g_k = 1.51 \text{ kN/m} = 1.51 \text{ N/mm}$ WYNOŚI

$$u_{inst,g} = \frac{5}{384} \frac{g_k L^4}{E_{0,mean} I_y} =$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{1.51 \times 4200^4}{11500 \times 1.067 \times 10^8} = 4.98 \text{ mm}$$

$$u_{inst,g} \approx 5.0 \text{ mm}$$



UGIĘCIE CHWILOWE OD OBCIĄŻENIA ZMIENNEGO

$$q_k = 1,35 \text{ kN/m} = 1,35 \text{ N/mm}$$

$$u_{inst,q} = \frac{5}{384} \times \frac{q_k L^4}{E_{0,mean} I_y} =$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{1,35 \times 4200^4}{11500 \times 1,067 \times 10^8} = 4,46 \text{ mm}$$

$$\underline{u_{inst,q} = 4,5 \text{ mm}}$$

WARTOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKÓW:

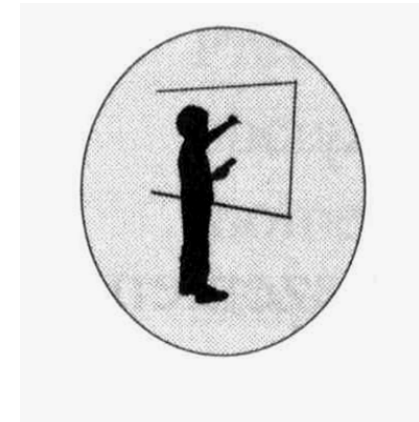
$$k_{def} = 0,8 \text{ — 2 KL. UŻYTKOWANIA}$$

$$\psi_{2,1} = 0,3 \text{ — KATEGORIA A — POW. MIESZKAŁNA}$$

UGIĘCIE KOŃCOWE OD OBC. STAŁEGO

$$u_{fin,q} = u_{inst,q} (1 + k_{def})$$

$$u_{fin,q} = 5,0 \times (1 + 0,8) = \underline{9 \text{ mm}}$$



UGIĘCIĘ KONCOWE OD OBC. ZMIENNEGO

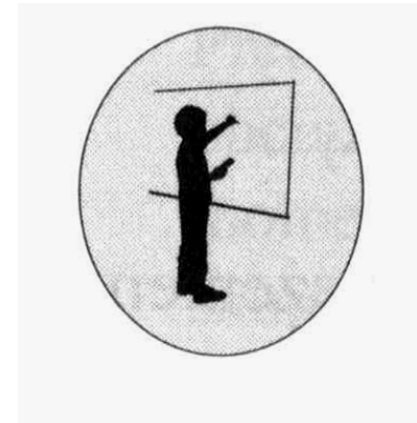
$$u_{fin,q} = u_{inst,q1} (1 + \gamma_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$u_{fin,q} = 4,5 \times (1 + 0,3 \times 0,8) = \underline{5,6 \text{ mm}}$$

UGIĘCIĘ KONCOWE ROZPATRYWANĄJ
BELKI LYNOS,

$$u_{fin} = u_{fin,q} + u_{fin,q1} = 9 + 5,6$$

$$\underline{u_{fin} = 14,6 \text{ mm}}$$



GRANICZNA WARTOŚĆ UGIĘCIA BELKI –
– STROP OTYNOLOWANY – WERSJA 1

$$w_{net, fin} = \frac{L}{300} = \frac{4200}{300} = 14 \text{ mm}$$

PONIEWAŻ

$$u_{fin} = 14,6 \text{ mm} > w_{net, fin} = 14 \text{ mm},$$

WARUNEK SGU NIE JEST SPEŁNIONY!

NALEŻY ZWIĘKSZYĆ PRZĘKROJE BELKI

PRZYJĘTO: $b = 17,5 \text{ cm}$

WSPÓŁCZYNNIK KORYGUJĄCY $w_k = \frac{160}{17,5} = 0,914$

UGIĘCIE KONCOWE PRZY $b = 17,5 \text{ cm}$

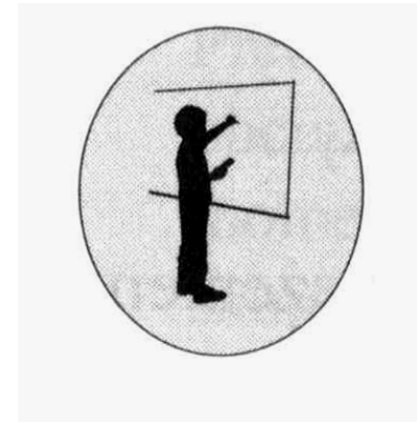
$$u_{fin} = 14,6 \times 0,914 = 13,35 \text{ mm}$$

OSTATECZNIE:

$$u_{fin} = 13,35 \text{ mm} < w_{net, fin} = 14 \text{ mm}$$

i.e. OK

WARUNEK SPEŁNIONY WYMIARY BELKI $b \times h = 175 \times 200 \text{ mm}$
SA PORÓWNAWE ZGŁĘDNI NA SGU.



GRANICZNA WARTOŚĆ UGIĘCIA BELKI
– STROP NIE OTYNKOWANY – WERSJA 2

$$w_{net,fin} = \frac{L}{250} = \frac{4200}{250} = \underline{16,8mm}$$

SPRAWDZENIE STANU GRANICZNEGO
UŻYTKOWALNOŚCI (SGL)

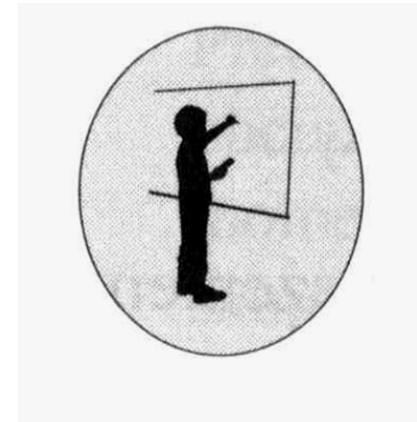
$$u_{fin} \leq w_{net,fin}$$

PONIEWAŻ

$$u_{fin} = 14,6mm < w_{net,fin} = 16,8mm,$$

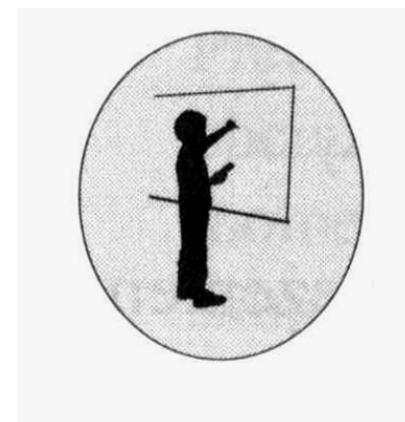
WARUNEK SGL ZOSTAŁ SPEŁNIONY.

PRZEROZ BELKI PRAWIDŁOWO DOBRANY,
ZE WZGLĘDU NA WARUNEK SZYBNOŚCI.



Procedura projektowania drewnianych belek zginanych

1. Aranżacja stropu – rozmieszczenie belek stropowych.
2. Przyjęcie warstw stropu (rodzaj materiału i grubość warstw) oraz wstępnych wymiarów przekroju poprzecznego projektowanej belki.
3. Zestawienie obciążeń o wartości charakterystycznej, najpierw obciążenie powierzchniowe w $[\text{kN/m}^2]$ stałe g_k i zmienne q_k , następnie liniowe (ciągłe) na projektowaną belkę w $[\text{kN/m}]$.
4. Stworzenie (obliczenie) kombinacji STR oddziaływań w trwałej sytuacji obliczeniowej projektowanej belki.
5. Analiza statyczna projektowanego elementu konstrukcyjnego – ustalenie schematu statycznego oraz obliczenie wartości ekstremalnych sił wewnętrznych, przede wszystkim momentu zginającego M_y .
6. Sprawdzenie stanu granicznego nośności (SGN) projektowanej belki.
7. Obliczenie ugięć – sztywności projektowanej belki (sprawdzenie stanu granicznego użytkowości – SGU).



PODSUMOWANIE