Zginanie i wyboczenie

naprężenie przy zginaniu $$\sigma = -\frac{My}{I}$$

Belka Eulera–Bernoulliego; liniowa sprężystość, zginanie względem osi głównej; znaki zgodne z układem osi.

wskaźnik wytrzymałości $$W = \frac{I}{y_{max}}$$

y_{max} > 0; rozpatrywana oś zginania.

moment bezwładności prostokąta $$I = \frac{bh^3}{12}$$

Oś przez środek przekroju, równoległa do boku b.

moment bezwładności koła $$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Średnicowa oś w płaszczyźnie przekroju.

ugięcie wspornika z siłą na końcu $$\delta = \frac{Fl^3}{3EI}$$

Idealnie utwierdzony wspornik; stałe E,I, małe ugięcia; wartość bezwzględna. δ oznacza wartość maksymalnego ugięcia; F jest wartością obciążenia, bez znaku kierunku. Siła F działa poprzecznie do osi belki na jej swobodnym końcu; I to geometryczny moment bezwładności przekroju względem właściwej osi zginania. Model belki Eulera–Bernoulliego, bez istotnych odkształceń postaciowych.

ugięcie belki swobodnie podpartej $$\delta = \frac{Fl^3}{48EI}$$

Dwie podpory przegubowe, siła w środku rozpiętości; stałe E,I, małe ugięcia. δ oznacza wartość maksymalnego ugięcia; F jest wartością obciążenia, bez znaku kierunku.

ugięcie belki pod obciążeniem równomiernym $$\delta = \frac{5ql^4}{384EI}$$

Belka swobodnie podparta na końcach; obciążenie na całej długości, stałe E,I. δ oznacza wartość maksymalnego ugięcia; q jest wartością obciążenia, bez znaku kierunku.

siła krytyczna Eulera $$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(Kl)^2}$$

Smukły prosty pręt idealny; sprężyste wyboczenie; I minimalne, K zależy od podparcia.

Równania belki

związki obciążenia, siły tnącej i momentu $$\frac{dV}{dx} = -q(x) \qquad \frac{dM}{dx} = V(x)$$

Przyjęta konwencja: dodatnie q skierowane w dół, dodatni moment zginający sagging. Na siłach skupionych występują skoki.

równanie linii ugięcia belki $$EI\frac{d^4w}{dx^4} = q(x)$$

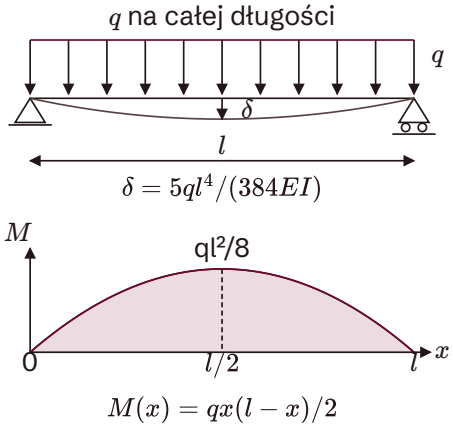
Belka Eulera–Bernoulliego, stała sztywność EI, małe ugięcia; w i q dodatnie w dół, a M=−EIw''. Konieczne warunki podparcia. Model bez wpływu siły osiowej; dla belki ściskanej z efektem siły osiowej potrzebne jest równanie belki z dodatkowym członem.

naprężenie styczne Żurawskiego $$\tau = \frac{VS}{Ib}$$

Belka smukła; S moment statyczny odciętej części przekroju, b lokalna szerokość. Warunki teorii technicznej zginania. S to moment statyczny odciętej części względem osi obojętnej na wysokości badanego punktu, I to moment bezwładności całego przekroju względem tej samej osi, a b to lokalna szerokość przekroju na tej wysokości.

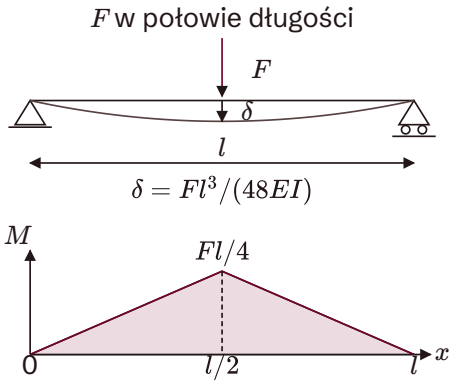
smukłość pręta $$\lambda = \frac{l_{\mathrm{ef}}}{\sqrt{I/A}}$$

Długość efektywna zależy od zamocowania i może być różna dla obu osi przekroju. Porównaj smukłości obu osi: największa smukłość odpowiada najmniejszej sile krytycznej Eulera. Pręt i przekrój są niedegenerowane: efektywna długość pręta > 0, I > 0 i A > 0; smukłość λ jest dodatnia.



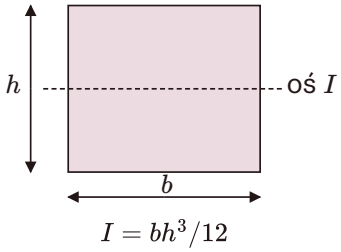
Moment zginający $M(x)$; dodatni przy rozciąganiu dołu

Belka swobodnie podparta: obciążenie q. Stałe obciążenie q [N/m] na całej długości l. E — moduł Younga, I — moment bezwładności przekroju. Maksymalne ugięcie δ i moment ql²/8 występują w środku. Małe ugięcia, stałe EI; linia ugięcia jest schematyczna.

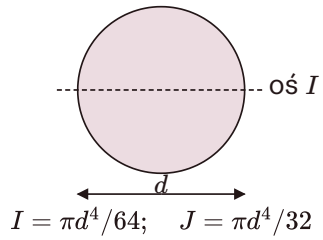


Moment zginający $M(x)$; dodatni przy rozciąganiu dołu
$M(x)$ = Fx/2 dla $0 \le x \le l/2$; dalej symetrycznie

Belka swobodnie podparta: siła F. Siła F [N] działa w środku belki długości l. E — moduł Younga, I — moment bezwładności przekroju. Maksymalne ugięcie δ i moment Fl/4 występują w środku. Małe ugięcia, stałe EI; linia ugięcia jest schematyczna.



Przekrój prostokątny i oś momentu bezwładności. I dotyczy osi poziomej przechodzącej przez środek przekroju; h mierzy się prostopadle do tej osi, b równolegle. Obrót przekroju zamienia rolę wymiarów. I podaje się w m⁴.



J: względem osi prostopadłej do przekroju, przez środek

Przekrój kołowy: I i J. d — średnica pełnego koła. I dotyczy osi w płaszczyźnie przekroju przez środek; biegunowy J — osi prostopadłej przez środek. Dla koła J = 2I; obu wartości nie stosuj zamiennie.

Symbole i jednostki

symbol	znaczenie	jednostka
A	pole przekroju	m^2
b	szerokość prostokątnego przekroju	m
d	średnica przekroju kołowego	m
E	moduł Younga	Pa
F	siła skupiona	N
h	wysokość prostokątnego przekroju	m
I	moment bezwładności przekroju	m^4
K	współczynnik długości wyboczeniowej	1
l	długość belki lub pręta	m
l_{ef}	długość efektywna	m
M	moment zginający	$\mathrm{N{\cdot}m}$
M	moment zginający	$\mathrm{N{\cdot}m}$
N_{cr}	krytyczna siła wyboczeniowa	N

symbol	znaczenie	jednostka
q	równomierne obciążenie liniowe	$\mathrm{N/m}$
S	moment statyczny części przekroju	m^3
V	siła tnąca	N
w	ugięcie	m
W	wskaźnik wytrzymałości przekroju	m^3
x	współrzędna belki	m
y	współrzędna włókna względem osi obojętnej (ze znakiem)	m
y_{max}	największa odległość od osi obojętnej	m
δ	maksymalne ugięcie co do wartości	m
λ	smukłość	
σ	naprężenie normalne	Pa
τ	naprężenie styczne	Pa