

Konstrukcje Metalowe

Wykład XV

Sztywność węzłów

Spis treści

Sztywność lokalna węzła → #t / 3

Metoda składnikowa → #t / 31

Modele sprężynkowe → #t / 46

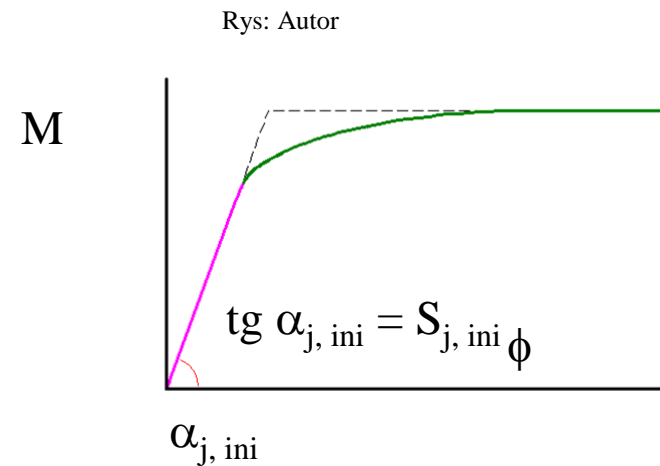
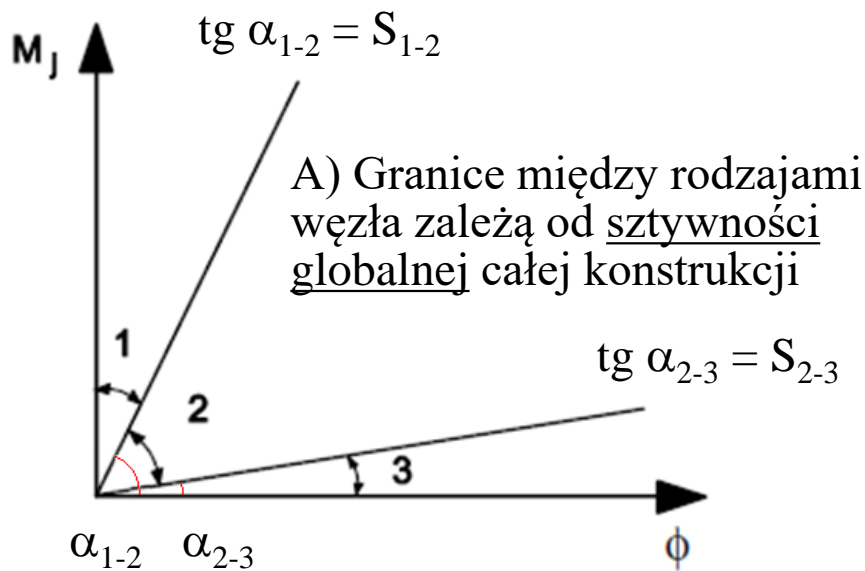
Przykłady → #t / 64

Węzły podatne → #t / 80

Zagadnienia egzaminacyjne → #t / 96

Sztywność lokalna węzła

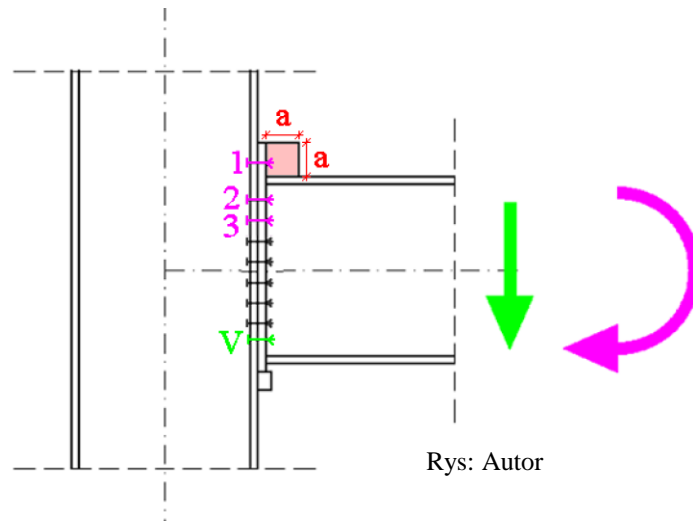
Zgodnie z informacjami przedstawionymi na poprzednim wykładzie: rodzaj węzła zależy od stosunku sztywności globalnej (dla całej konstrukcji) do sztywności lokalnej elementów składowych węzła (blach, śrub). Miejscowa sztywność połączenia jest określona wieloma parametrami i czynnikami, dotyczącymi różnych zjawisk.



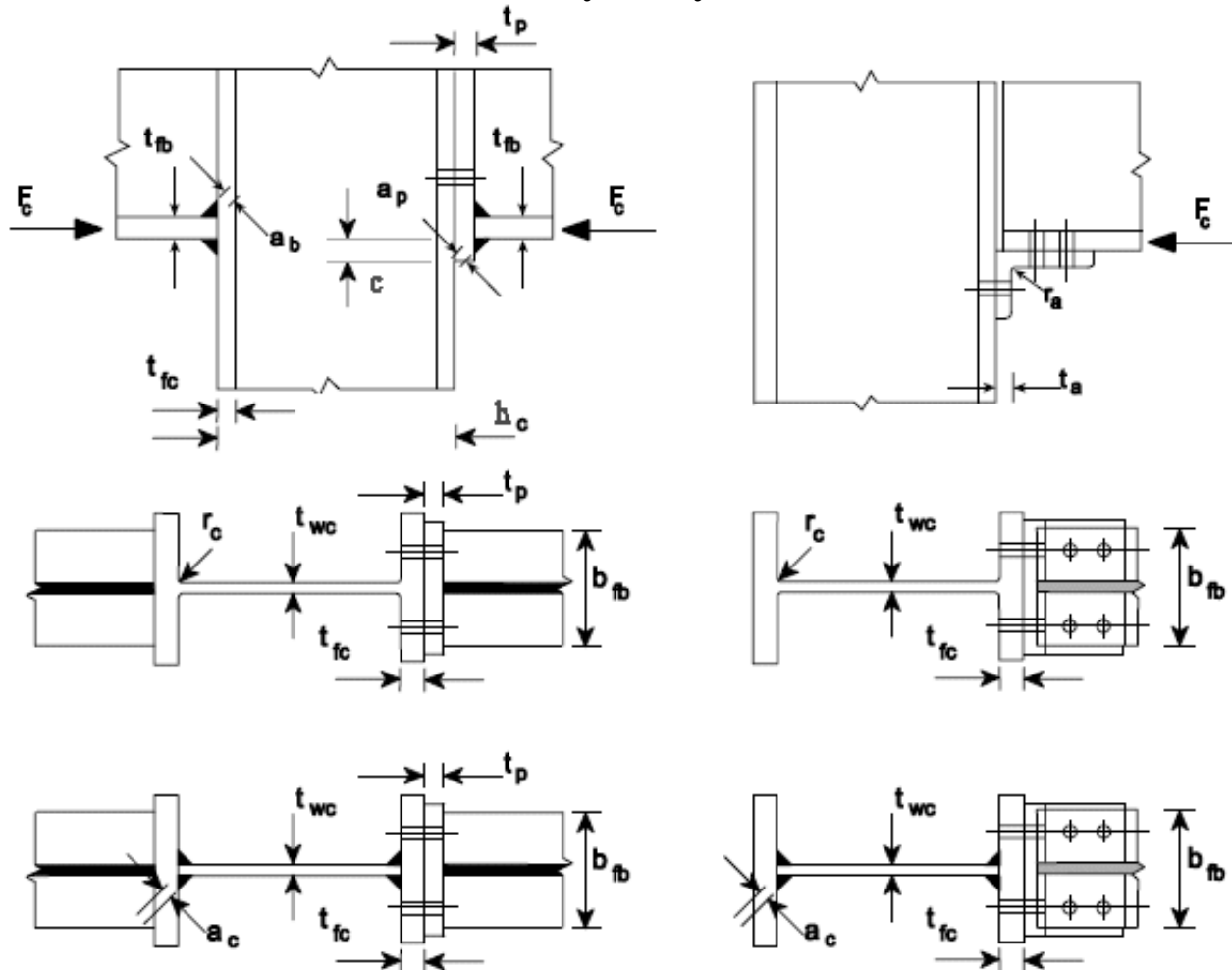
Rys: EN 1993-1-8 fig 5.4

Zalecenia dla styku doczołowego, wynikające z doświadczenia:

1. Przyjmuje się do obliczeń wpływ tylko trzech najwyższych rzędów śrub (najdalszych od ściskanej półki belki: 1, 2, 3).
2. W przypadku połączenia kategorii E stosuje się mimo to równomierne rozmieszczenie śrub na całej wysokości styku.
3. Jeden rząd = 2 śruby; nie ma pewności czy dla 4 śrub wzory są takie same.
4. Ścinanie przenoszą śruby w strefie ściskanej.
5. Euroko nie precyzyjnie jasno informację na temat żeberka ponad półką belki. Zalecenie: żebro kwadratowe (a x a) o grubości średnicy belki. Powinno sięgać ≈ 200 mm powyżej osi śruby. Rozwiązanie nie zawsze stosowane; żebro kolduje z płytą żelbetową.

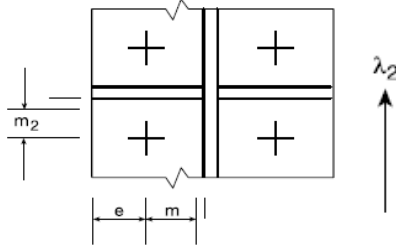
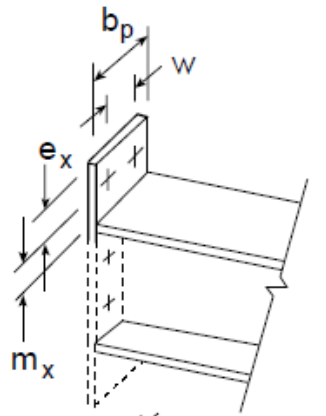


Wymiary



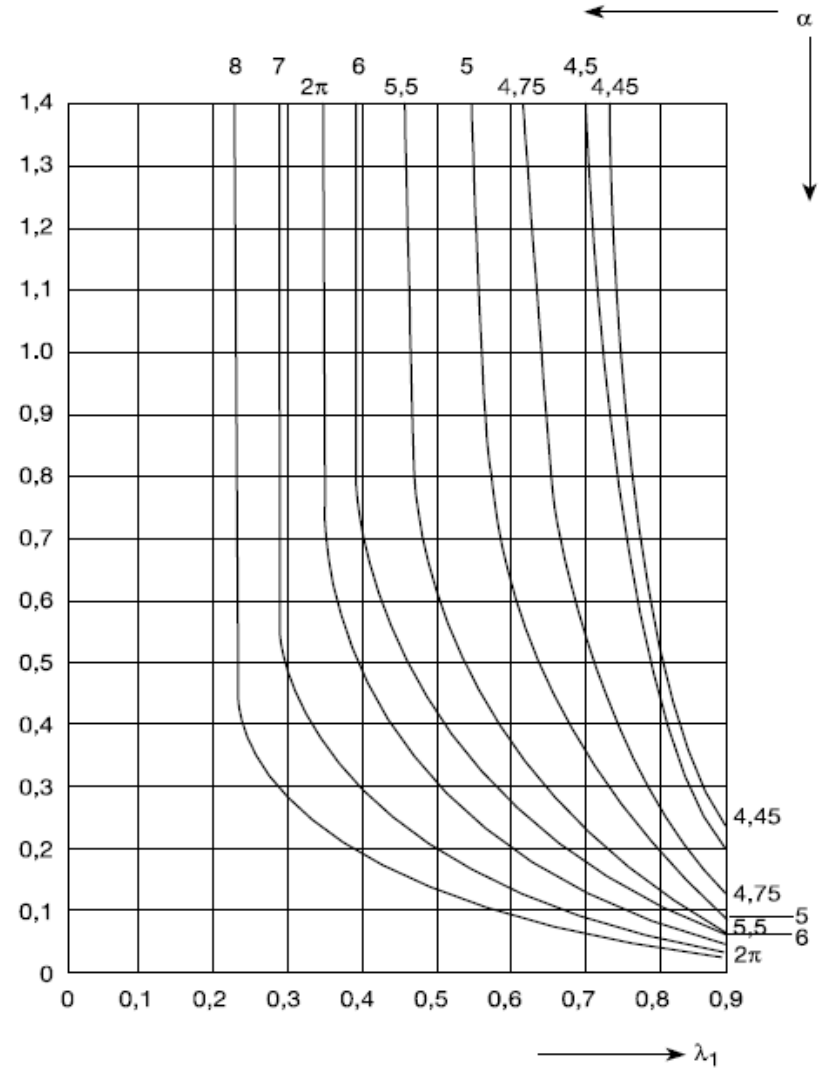
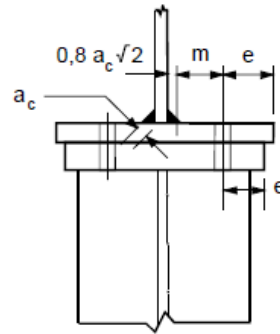
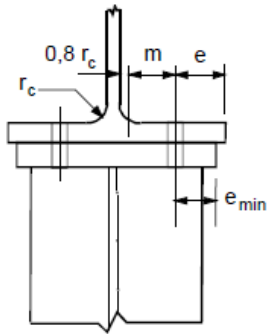
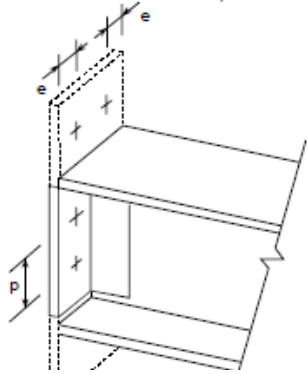
Rys: EN 1993-1-8 fig. 6.6

Wymiary



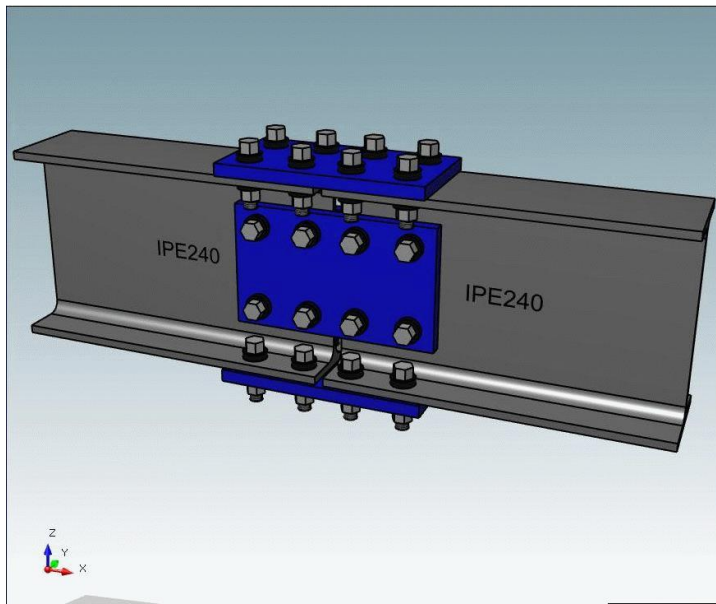
$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$

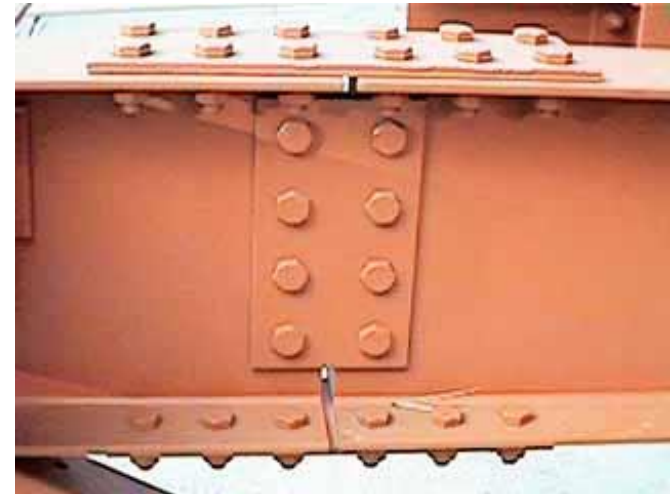


Rys: EN 1993-1-8 fig 6.8, 6.10. 6.11

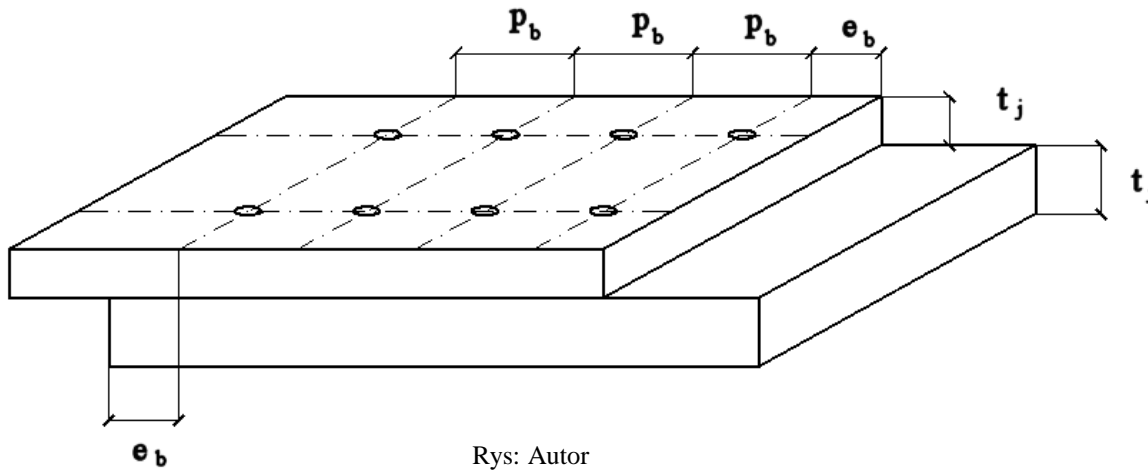
Wymiary



Rys: gsi-eng.eu



Rys: amsd.co.uk



Rys: Autor

Wymiary

Ramię działania:

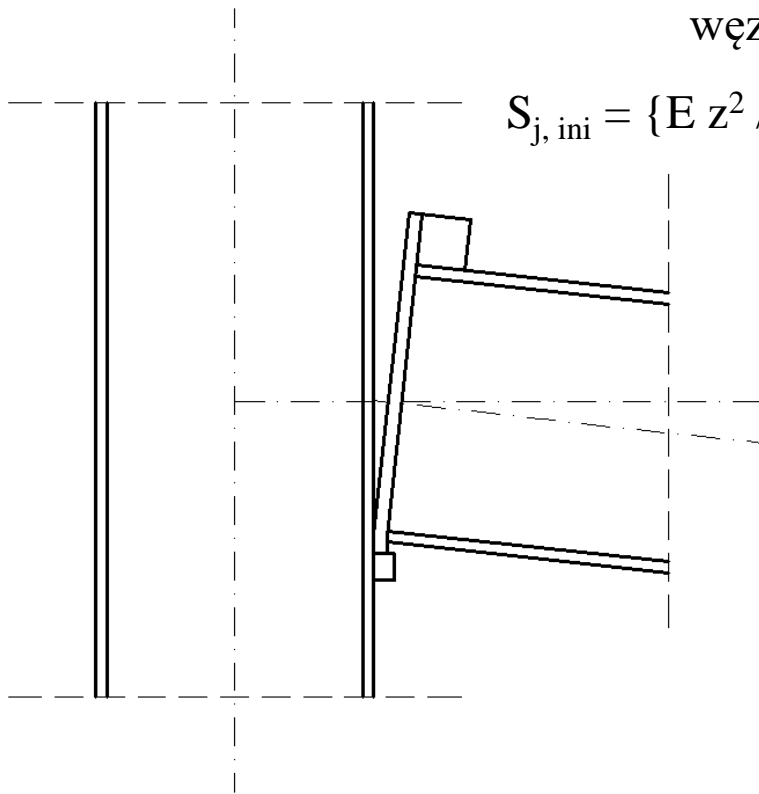
węzły ramowe:

$$S_{j, ini} = E z^2 / [\Sigma (1 / k_i)]$$

węzły podporowe:

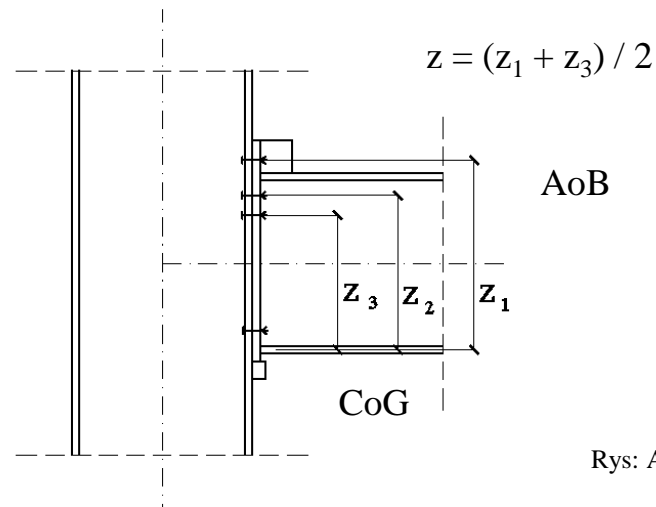
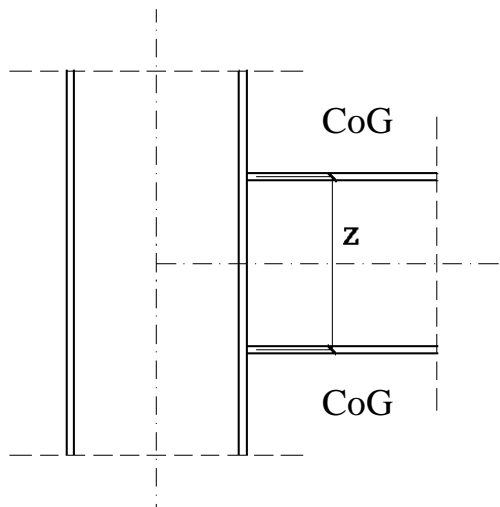
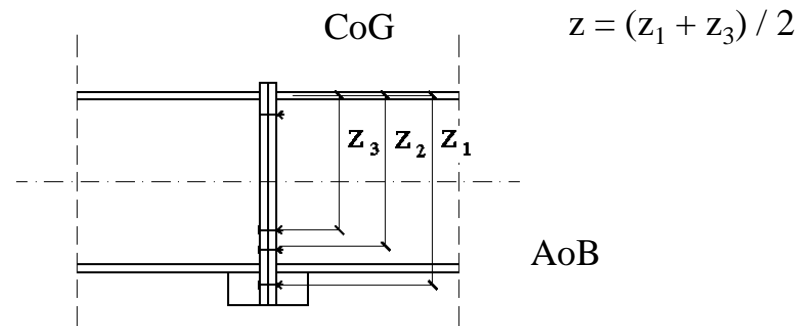
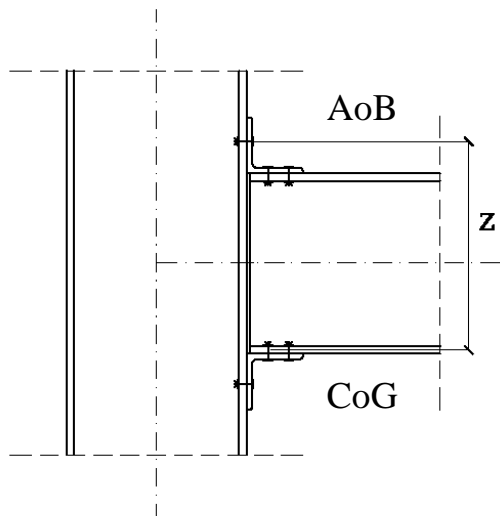
$$S_{j, ini} = \{ E z^2 / [\Sigma (1 / k_i)] \} e / (e + e_k)$$

Rys: Autor



Sytuacja teoretyczna: brak śrub w przegubie - obrót belki wokół dolnej części strefy ściskanej. Teoretyczna oś obrotu: środek ciężkości (CoG) półki belki ściskanej.

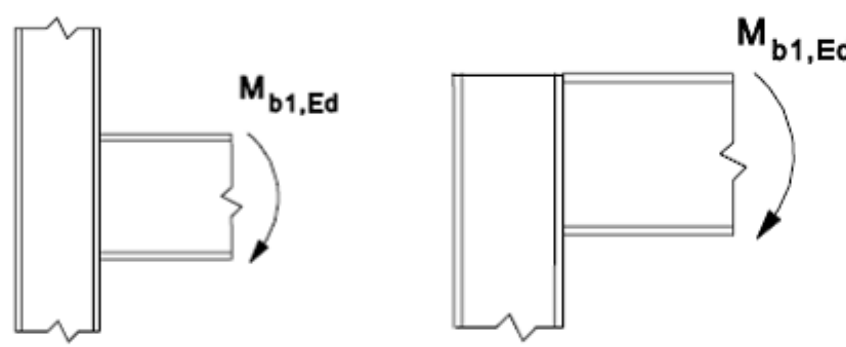
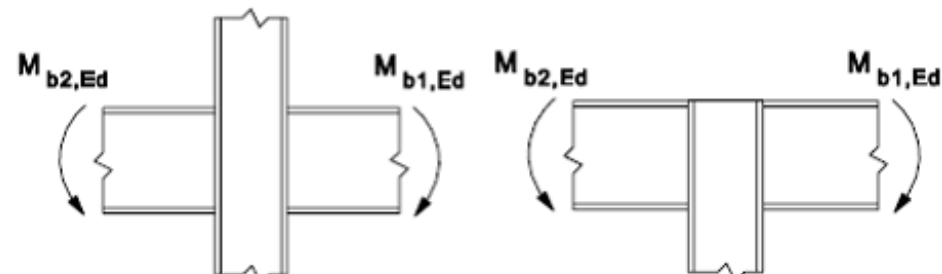
Ramię działania z definiuje się jako odległość między CoG dolnej półki a CoG górnej półki lub osi śruby (AoB):



Rys: Autor

Geometria styku

EN 1993-1-8 tab. 5.4

Konfiguracja	Oddziaływanie	Parametr transformacji β
	$M_{b1, Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1, Ed} = M_{b2, Ed}$	$\beta = 0$ *)
	$M_{b1, Ed} = M_{b2, Ed} > 0,0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1, Ed} = M_{b2, Ed} < 0,0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1, Ed} + M_{b2, Ed} = 0,0$	
<p>*) w tej sytuacji wartość β jest raczej dokładna a nie przybliżona</p>		

EN 1993-1-8 tab. 6.3

β	ω
$0,0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1,0$
$0,5 \leq \beta < 1,0$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1,0$	$\omega = \omega_1$
$1,0 < \beta < 2,0$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2,0$	$\omega = \omega_2$

$$\omega_1 = 1 / \sqrt{[1 + 1,3(b_{\text{eff, c, wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2]}$$

$$\omega_2 = 1 / \sqrt{[1 + 5,2(b_{\text{eff, c, wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2]}$$

$$A_{\text{vc}} = A_{\text{vc, column}} (\approx h_w t_w)$$

β , ω – dwa sposoby na wzięcie pod uwagę kształtu węzła (ile belek łączy się ze słupem)

Stopa słupa

1. Beton (f_{cd}) decyduje o nośności stopy: jest to najsłabszy element, który ulegnie zniszczeniu jako pierwszy. Wytrzymałość podłoża zależy od efektywnej powierzchni styku stali z betonem.

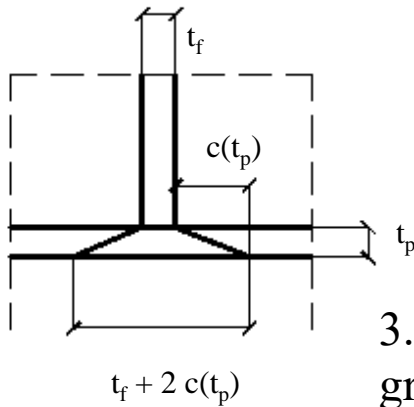


Rys: osha.gov



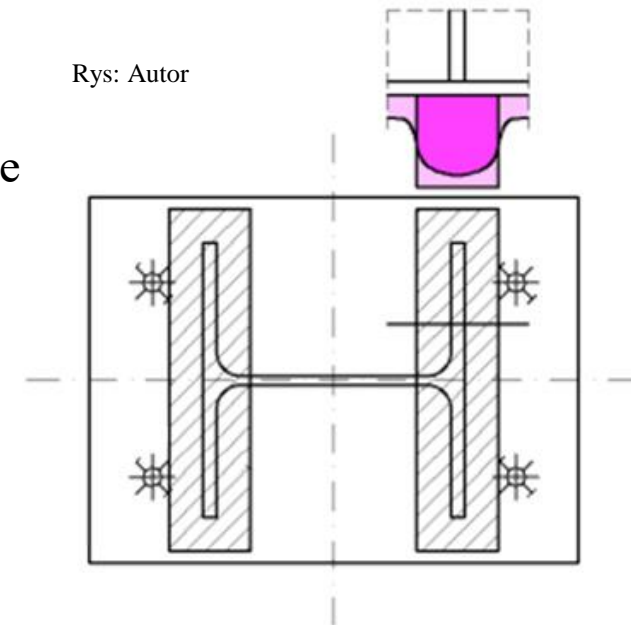
Rys: diy.stackexchange.com

2. Obszar efektywny to obszar przekroju słupa i jego najbliższe sąsiedztwo. Jest to wynik linearyzacji naprężeń pod płytą podstawy.



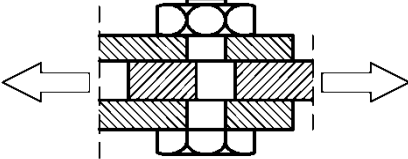
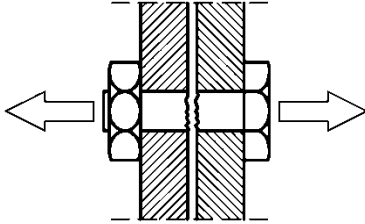
Rys: Autor

3. Zasięg najbliższego sąsiedztwa c jest proporcjonalny do grubości płyty podstawy.

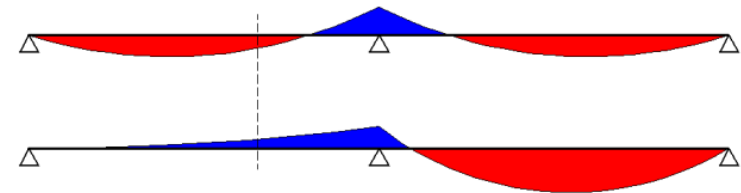


Rys: Autor

Kategoria połączenia śrubowego i obciążenie

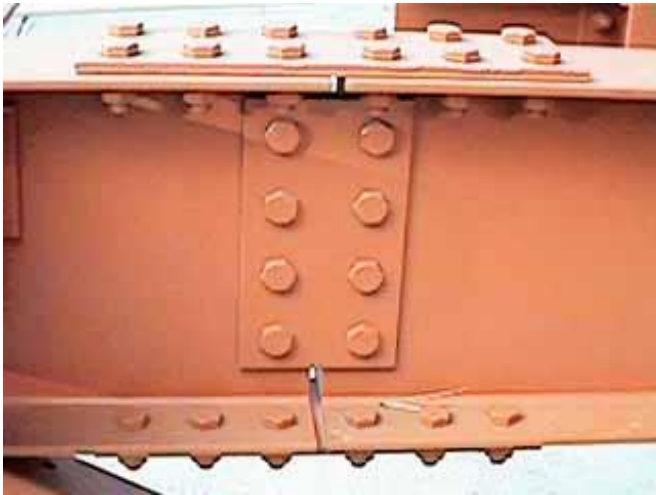
					
Kategoria	A	B	C	D	E
Rodzaj obciążenia	Statyczne i aerodynamiczne bez zmiany zwrotu momentu zginającego	Statyczne i aerodynamiczne ze zmianą zwrotu momentu zginającego	Dynamiczne	Statyczne, aerodynamiczne	Dynamiczne
Rodzaj śruby	„zwykłe”	sprężające		„zwykłe”	sprężające

Zmiana zwrotu momentu zginającego w różnych kombinacjach obciążeń



Rys: Autor

Ścinanie trzonu śruby i docisk (odkształcenie blach na skutek kontaktu z trzpieniem) - dwa bardzo istotne zjawiska występują w przypadku połączenia śrubowego na ścinanie.



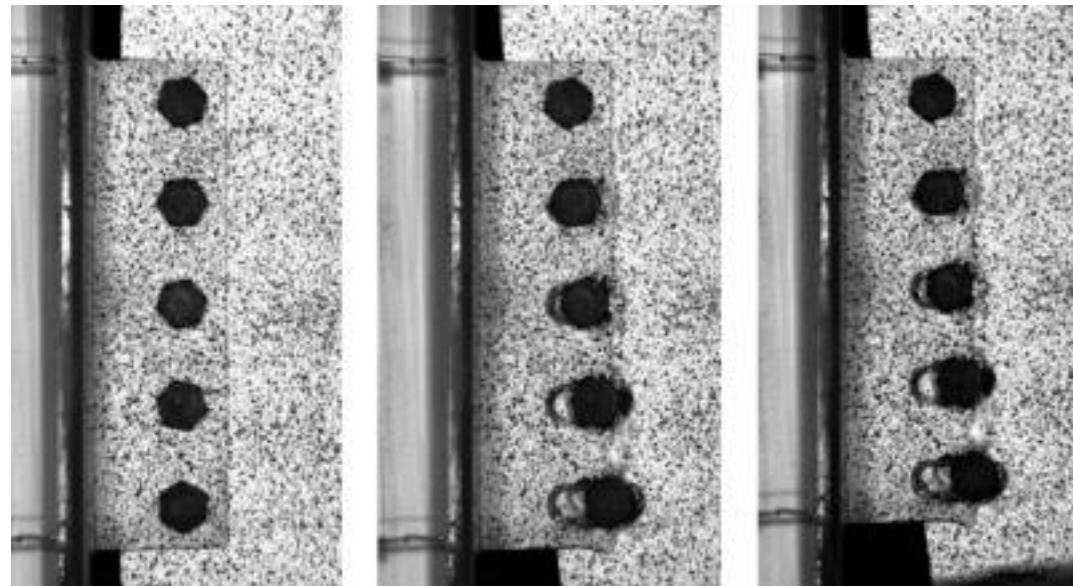
Rys: amsd.co.uk



Rys: ceprocs.civil.tamu.edu

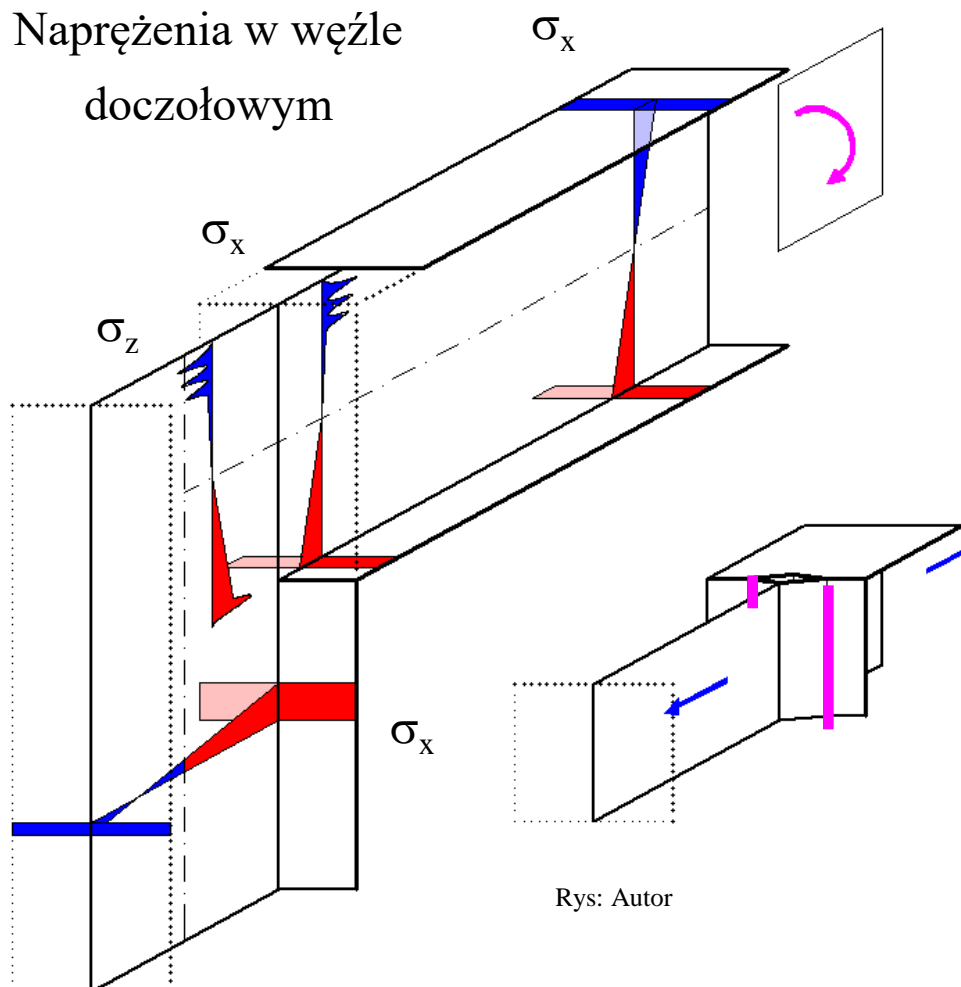


Rys: ascelibrary.org



Rys: ascelibrary.org

Napężenia w węźle doczołowym

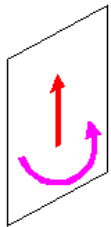


W węźle wystąpi pełen zestaw sił przekrojowych: M_{Ed} , N_{Ed} , V_{Ed} .

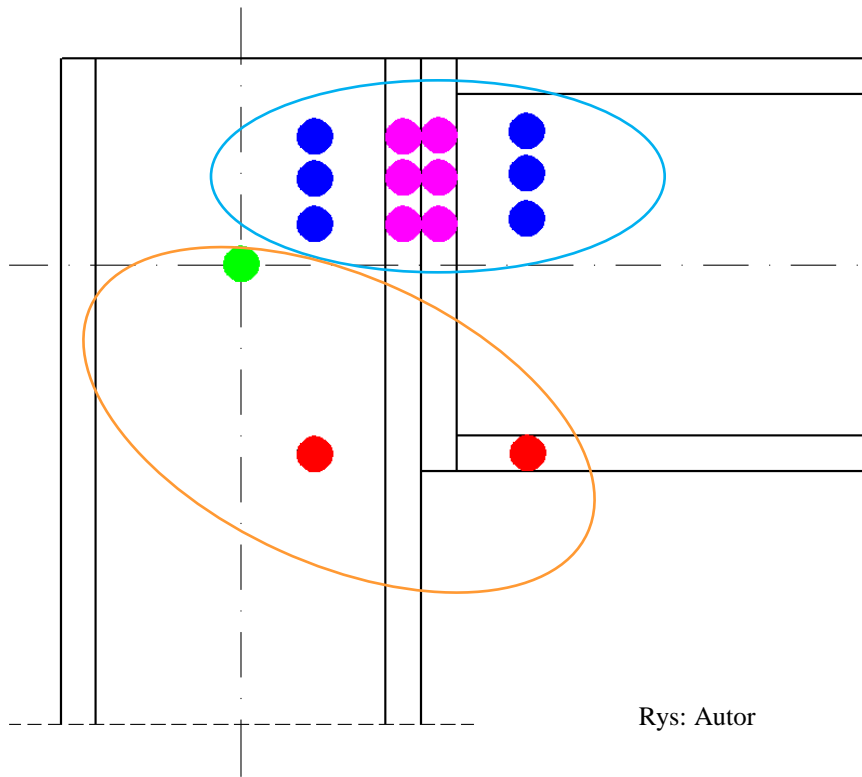
Siła osiowa jest brana pod uwagę jako wytyczna dla dobrania przekroju belki: EN 1993-1-8 6.2.7.1 (2) nie może przekroczyć 5% nośności belki; wówczas można ją pominąć w analizie.

Siła ścinająca z rygla jest tradycyjnie przykładana tylko do strefy ściskanej węzła.

Rys: Autor



Siła ścinająca w słupie nie ma istotnego znaczenia dla węzła.



Rys: Autor

Różne nośności dla różnych rzędów śrub:

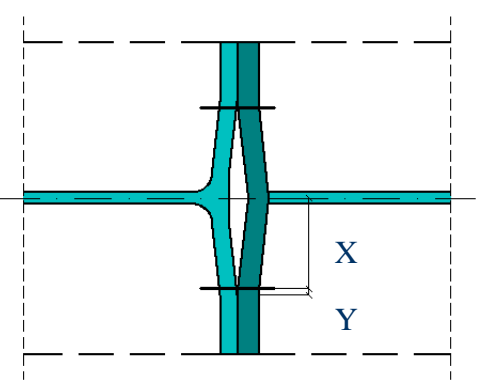
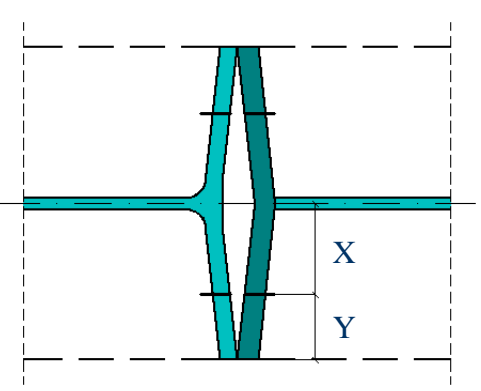
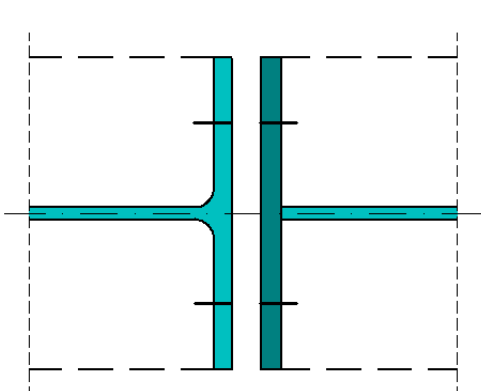
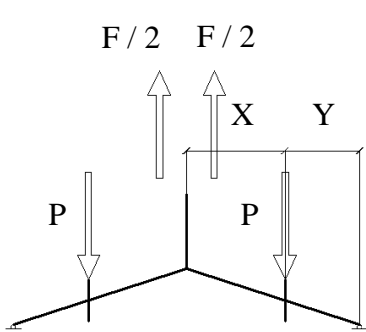
- Lokalne rozciąganie średnicy słupa; I, II, III;
- Lokalne zginanie półki słupa; I, II, III;
- Lokalne zginanie blachy czołowej; I, II, III;
- Lokalne rozciąganie średnicy belki; I, II, III;

Taka sama nośność dla wszystkich rzędów śrub:

- Lokalne ściskanie półki belki;
- Lokalne ściskanie poprzeczne średnicy słupa w warunkach dużego ściskania osiowego;
- Lokalne ścinanie średnicy słupa jako wtórny efekt na styku strefy ścisanej i rozciąganej;

Strefa rozciągana

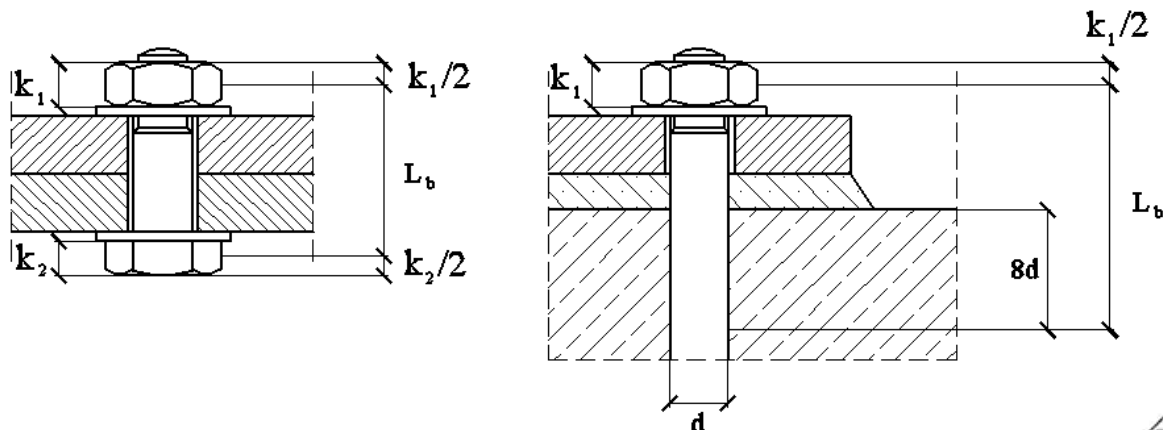
Strefa ścinana jest traktowana jako część strefy rozciąganej.

Model 1 – całkowite uplastycznienie blachy / pasa	Model 2 – częściowe uplastycznienie blachy / pasa ze zniszczeniem śrub	Model 3 – zniszczenie śrub
Cienka blacha / pas słupa – mechanizm dźwigni		Gruba blacha / pas słupa
		
<p>Siła w śrubie = P Wypadkowa = F $P Y = (F / 2) (X + Y)$ $P = (F / 2) (X + Y) / Y$ $(X + Y) / Y > 2 \rightarrow P > F$ (!!!)</p>		<p>Siła w śrubie = P Wypadkowa = F $P = F / 2$</p>

Kiedy tak się dzieje?

Rys: Autor

EN 1993-1-8 tab. 6.2



$L_b \leq L_b^* \rightarrow$ Efekt dźwigni

$L_b > L_b^* \rightarrow$ Brak efektu dźwigni

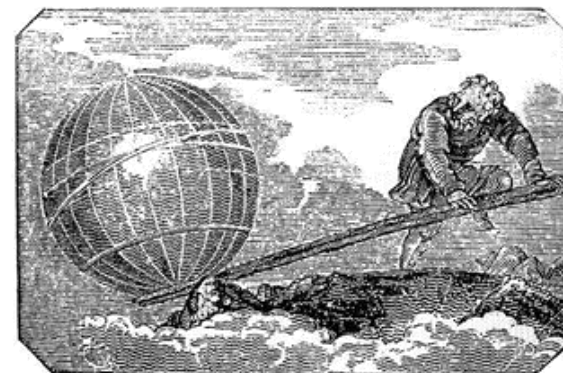
$$L_b^* = 8,8 \text{ m}^3 A_s / (\sum l_{\text{eff}} t_f^3)$$

A_s – pole przekroju śruby w strefie nagwintowanej

t_f – grubość najcieńszej blachy

$$m \rightarrow \#t / 6$$

$$\sum l_{\text{eff}} \rightarrow \#t / 23 - 25, \#t / 27$$



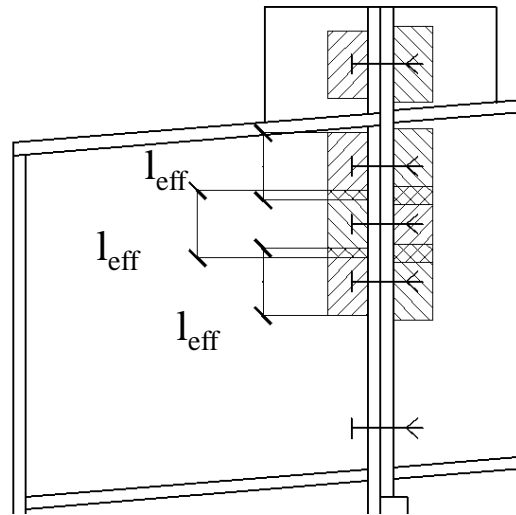
Rys: physics.weber.edu

Dajcie mi punkt podparcia a poruszę Ziemię

Model obliczeniowy: efektywny obszar koncentracji naprężeń - długość efektywna

Półka, blacha $\rightarrow l_{\text{eff}}$

Środek $\rightarrow b_{\text{eff}}$ (inny symbol, ale ten sam sens i sposób obliczenia jak dla półki / blachy l_{eff})



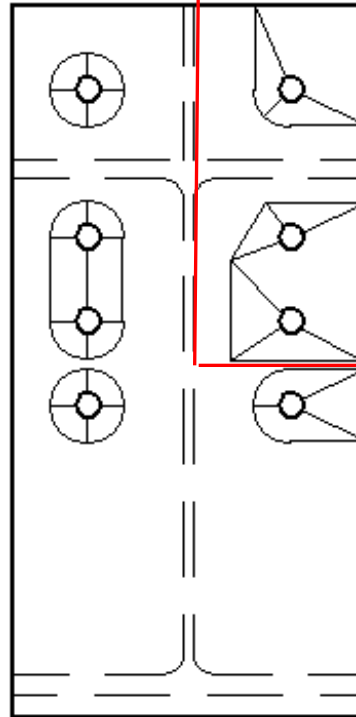
Rys: Autor

Jest możliwe, że strefy efektywne sąsiednich śrub nałożą się na siebie. W takim przypadku należy brać pod uwagę Σl_{eff} , a nie pojedyncze l_{ef} .

Σl_{eff} jest ważne tylko dla sprawdzenia nośności, l_{ef} jest ważne zarówno dla nośności jak i sztywności.

Załamanie blachy / półki podczas zginania może przyjąć jedną z dwu form:

Zniszczenie w mechanizmie kołowym



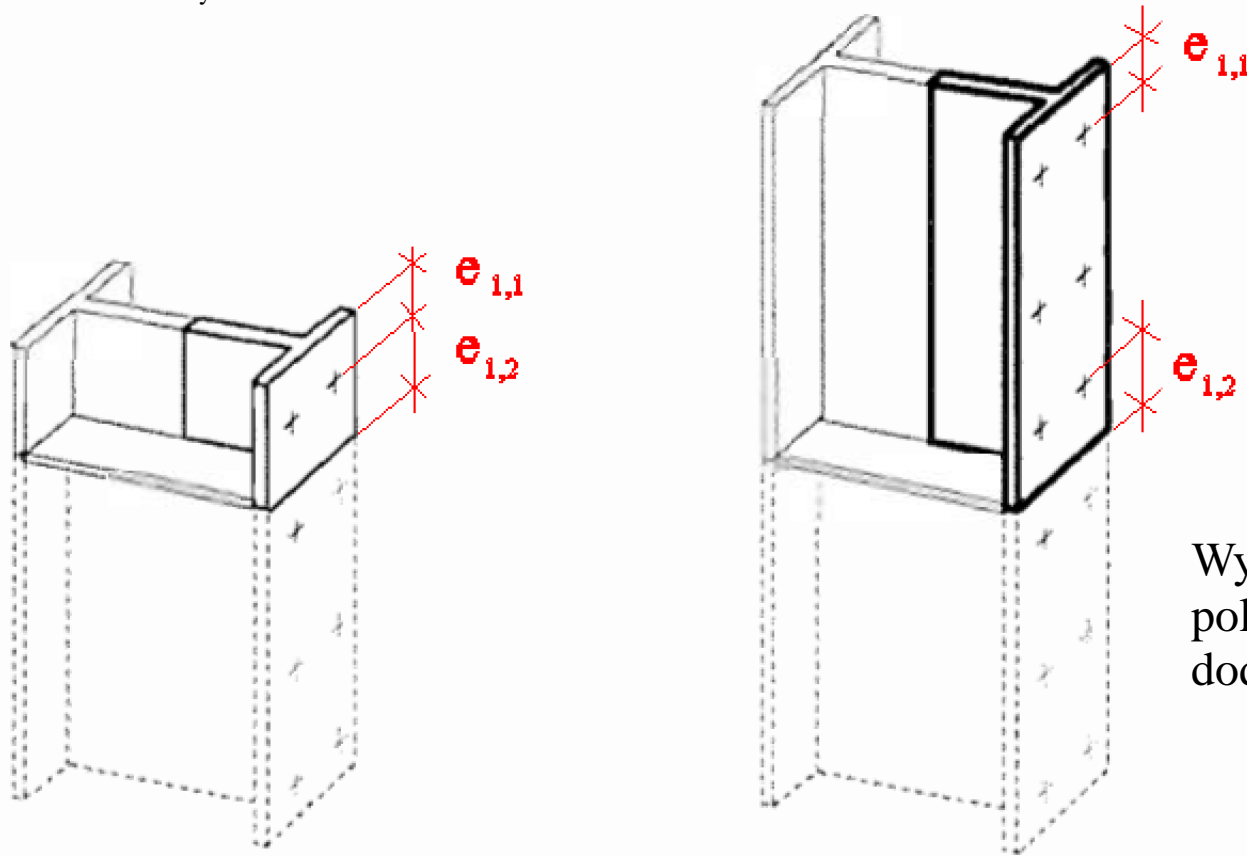
Niekołowe mechanizmy zniszczeń

Rys: Autor

Dwa dwu różnych mechanizmów długości l_{eff} są różne. Należy policzyć oba przypadki l_{eff} i w dalszych obliczeniach uwzględnić mniejszą z nich.

$e_{1,1}$ – Odległość od osi śruby do końca półki słupa

Rys: Autor



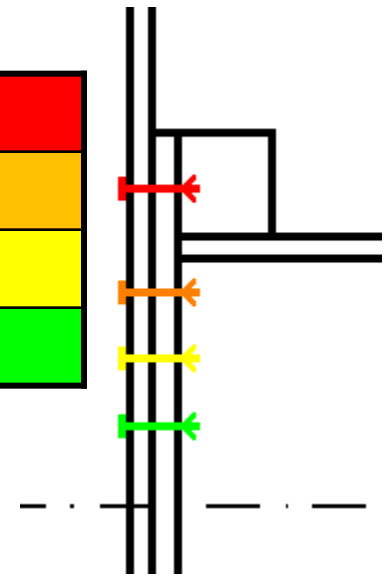
Wyjaśnienie pominięte w polskiej wersji Eurokodu, dodane w poprawce.

$e_{1,2}$ – najmniejsza odległość od osi śruby do najbliższego żebra na słupie

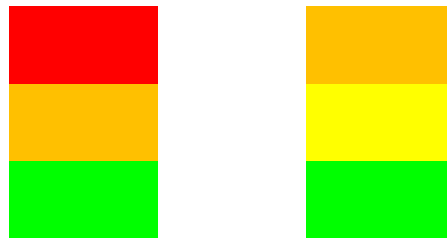
Informacje podane w Eurokodzie: (nazwa rzędu śruby) ↔ (położenie) nie są do końca jasne; literaturze spotyka się różne interpretacje

Analiza literatury i Eurokodu wskazuje na istnienie czterech różnych obciążonych rzędów śrub. Dla tych czterech rzędów są podane najczęściej spotykane interpretacje opisów z EN 1993-1-8:

Najwyższy szereg, ponad półką belki
Pierwszy pod półką belki
Kolejny pod półką belki
Najniższy pod półką belki



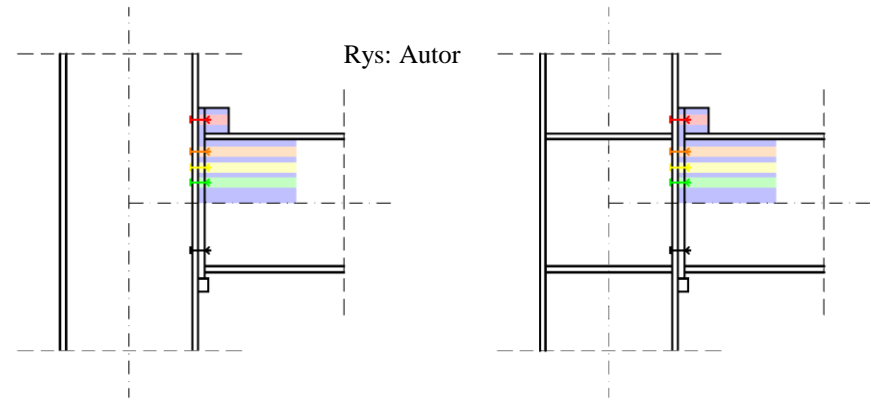
Najczęściej w grę wchodzi jedno z dwu rozwiązań:



Rys: Autor

Blacha czołowa / średnik belki

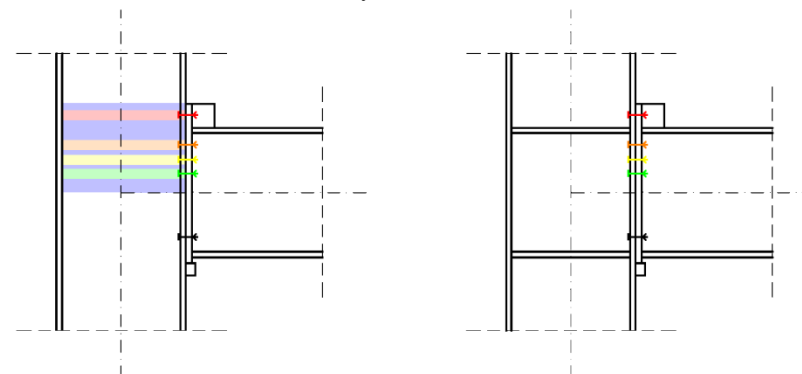
EN 1993-1-8 tab. 6.6



Szereg śrub	Szeregi rozważane indywidualnie		Grupy szeregów	
	Kołowy $l_{\text{eff, cp}}$	Niekołowy $l_{\text{eff, nc}}$	Kołowy $\Sigma l_{\text{eff, cp}}$	Niekołowy $\Sigma l_{\text{eff, nc}}$
Szereg śrub poza pasem rozciągającym	$\min (2\pi m_x ; \pi m_x + w ; \pi m_x + 2e)$	$\min (4m_x + 1,25e_x ; e + 2m_x + 0,625e_x ; 0,5b_p ; 0,5w + 2m_x + 0,625e_x)$	-	-
Pierwszy poniżej pasa rozciąganego	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - 2m - 0,625e$
Inny wewnętrzny	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Inny skrajny	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$

Słup nieuźebrowany: średnik i półka

Rys: Autor



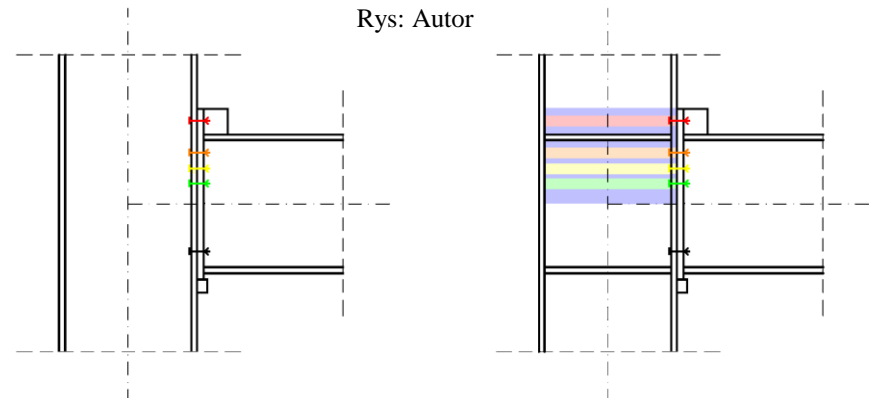
EN 1993-1-8 tab. 6.4

Szereg śrub	Szeregi rozważane indywidualnie		Grupy szeregów	
	Kołowy $l_{eff, cp}$	Niekołowy $l_{eff, nc}$	Kołowy $\Sigma l_{eff, cp}$	Niekołowy $\Sigma l_{eff, nc}$
(Górny) skranjy	$\min (2\pi m ; \pi m + 2e_{1,1})$	$\min (4m + 1,25e ; 2m + 0,625e + 2e_{1,1})$	$\min (\pi m + p ; 2e_{1,1} + p)$	$\min (2m + 0,625e + 0,5p ; e_{1,1} + 0,5p)$
Wewnętrzny	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
(Dolny) skrajny	$\min (2\pi m ; \pi m + 2e_{1,b})$	$\min (4m + 1,25e ; 2m + 0,625e + 2e_{1,b})$	$\min (\pi m + p ; 2e_{1,b} + p)$	$\min (2m + 0,625e + 0,5p ; e_{1,b} + 0,5p)$

Część nie całkiem jasna w Eurokodzie; $e_{1,1}$ według to #t / 22 ; $e_{1,b}$ można by prawdopodobnie przyjąć jako odległość do dolnego końca słupa lub do węzła na niższym poziomie ramy

Słup uźebrowany: środek i półka

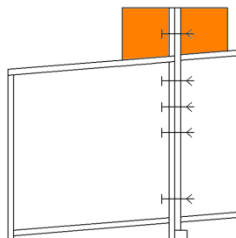
EN 1993-1-8 tab. 6.5



Szereg śrub	Szeregi rozważane indywidualnie		Grupy szeregów	
	Kołowy $l_{eff, cp}$	Niekołowy $l_{eff, nc}$	Kołowy $l_{eff, cp}$	Niekołowy $l_{eff, nc}$
Skrajny w pobliżu żebra	$\min(2\pi m ; \pi m + 2e_{1,1})$	$\min(e_{1,1} + \alpha m - 2m - 0,625e ; \alpha m)$	-	-
W pobliżu żebra	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - 2m - 0,625e$
Inny wewnętrzny	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Inny skrajny	$\min(2\pi m ; \pi m + 2e_{1,2})$	$\min(4m + 1,25e ; 2m + 0,625e + 2e_{1,2})$	$\min(\pi m + p ; 2e_{1,2} + p)$	$\min(2m + 0,625e + 0,5p ; e_{1,2} + 0,5p)$

Zalecenie z literatury

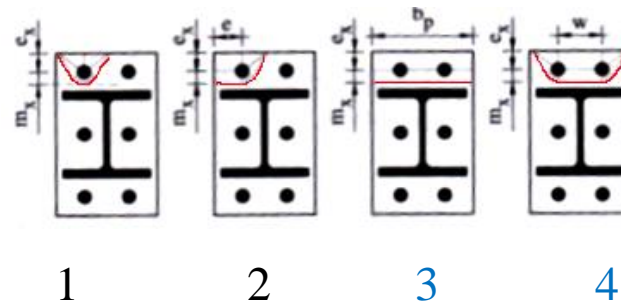
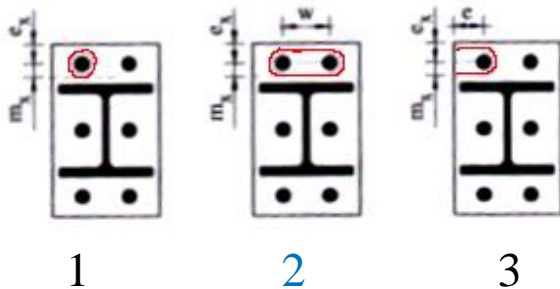
Nieformalne zalecenie dotyczące żeberek



Rys: Autor

Mechanizmy kołowe

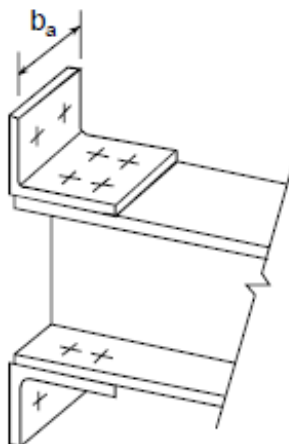
Mechanizmy niekołowe



Rys: J. Goczek, Ł. Supeł, M. Gajdzicki, Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych, Politechnika Łódzka 2011

Podane w tabeli wzory na efektywne długości odnoszą się do konkretnych mechanizmów zniszczenia. Wzmocnienie blachy nad półką belki za pomocą pionowego żebrza ($\rightarrow \#t / 4$) czyni **drugi** mechanizm kołowy oraz **trzeci** i **czwarty niekołowy** niemożliwymi (żebro uniemożliwia równoczesne załamanie się blachy wokół obu śrub). Te przypadki można pominąć w obliczeniach.

Nakładka z kątowników



Rys: EN 1993-1-8 fig. 6.12

$$l_{\text{eff}} = b_a / 2$$



Rys: Behaviour of stiffened flange cleat joints, D. Skejic, D. Dujmovic, D. Beg

Szerokość efektywna w strefie ściskanej

EN 1993-1-8 6.2.6.2

$b_{\text{eff, c, wc}}$	$t_{\text{fb}} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{\text{fc}} + s)$	$t_{\text{fb}} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{\text{fc}} + s) + s_p$	$2t_a + 0,6 r_a + 5(t_{\text{fc}} + s)$

Rys: Autor

Szerokość efektywna w strefie ściskanej

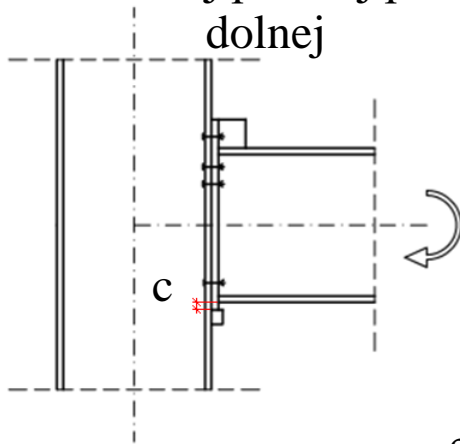
Słup:	s_p	s	d_{wc}
Spawany	$\min(t_p + c ; 2t_p)$	$\sqrt{2} a_c$	$h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2} a_c)$
Gorącownicowy		r_c	$h_c - 2(t_{fc} + r_c)$

EN 1993-1-8 6.2.6.2

$\bar{\lambda}_p$	ρ
$\leq 0,72$	1,0
$> 0,72$	$(\bar{\lambda}_p - 0,2) / (\bar{\lambda}_p)^2$

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{[(b_{\text{eff}, t, wc} d_{wc} f_{y, wc}) / (E t_{wc}^2)]}$$

c – długość blachy
czołowej poniżej półki
dolnej

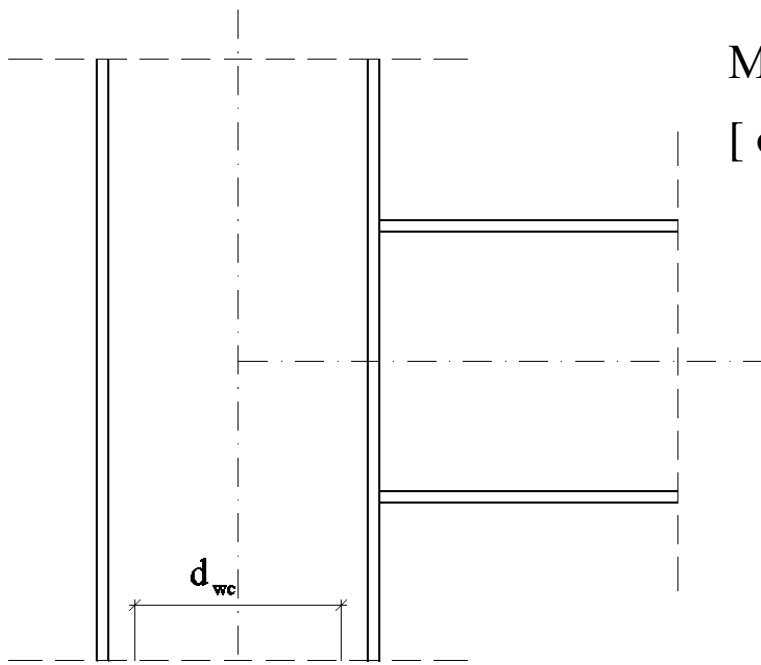


Rys: Autor

ρ – uproszczona analiza wpływu ściskania w środku słupa – liczony nie jest współczynnik utraty stateczności χ , a tylko współczynnik redukcyjny.

Szerokość efektywna w strefie ściskanej

Rys: Autor

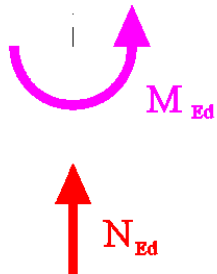


Maksymalne ściskanie w płaskiej części środnika (d_{dwc}):

$$[\sigma (N_{ed} + M_{Ed})]_{dwc} = \sigma_{com, Ed}$$

$\sigma_{com, Ed} / f_{y, wc}$	k_{wc}
$\leq 0,7$	1,0
$> 0,7$	$1,7 - \sigma_{com, Ed} / f_{y, wc}$

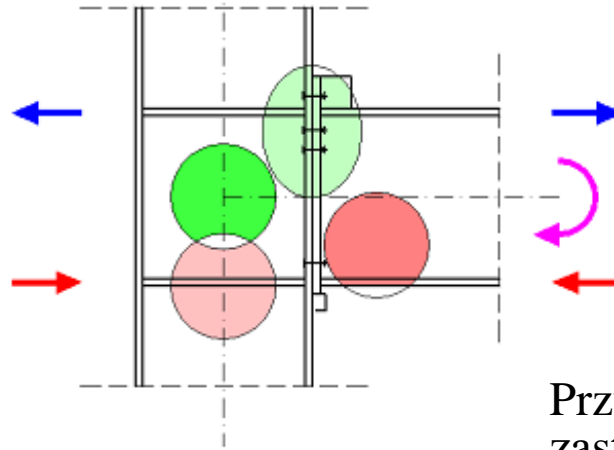
EN 1993-1-8 6.2.6.2



k_{wc} – wpływ dwukierunkowego ściskania; osiowego i lokalnego poprzecznego; na środnik słupa

Metoda składowa: węzeł jest przedstawiony jako suma podstawowych składników o określonej nośności i sztywności.

→ #14 / 17



Rys: Autor

Przy sprawdzaniu sztywności analizujemy zastępczy układ sprężynek.

O nośności całości decyduje najslabsze ogniwo.



Rys: dynamicbusiness.com.au

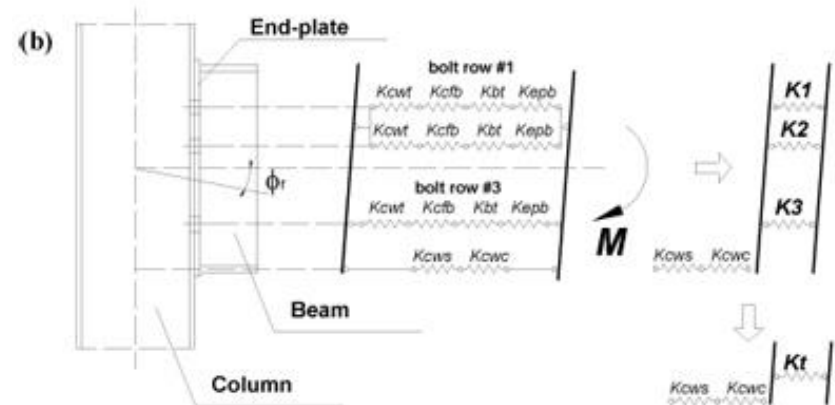
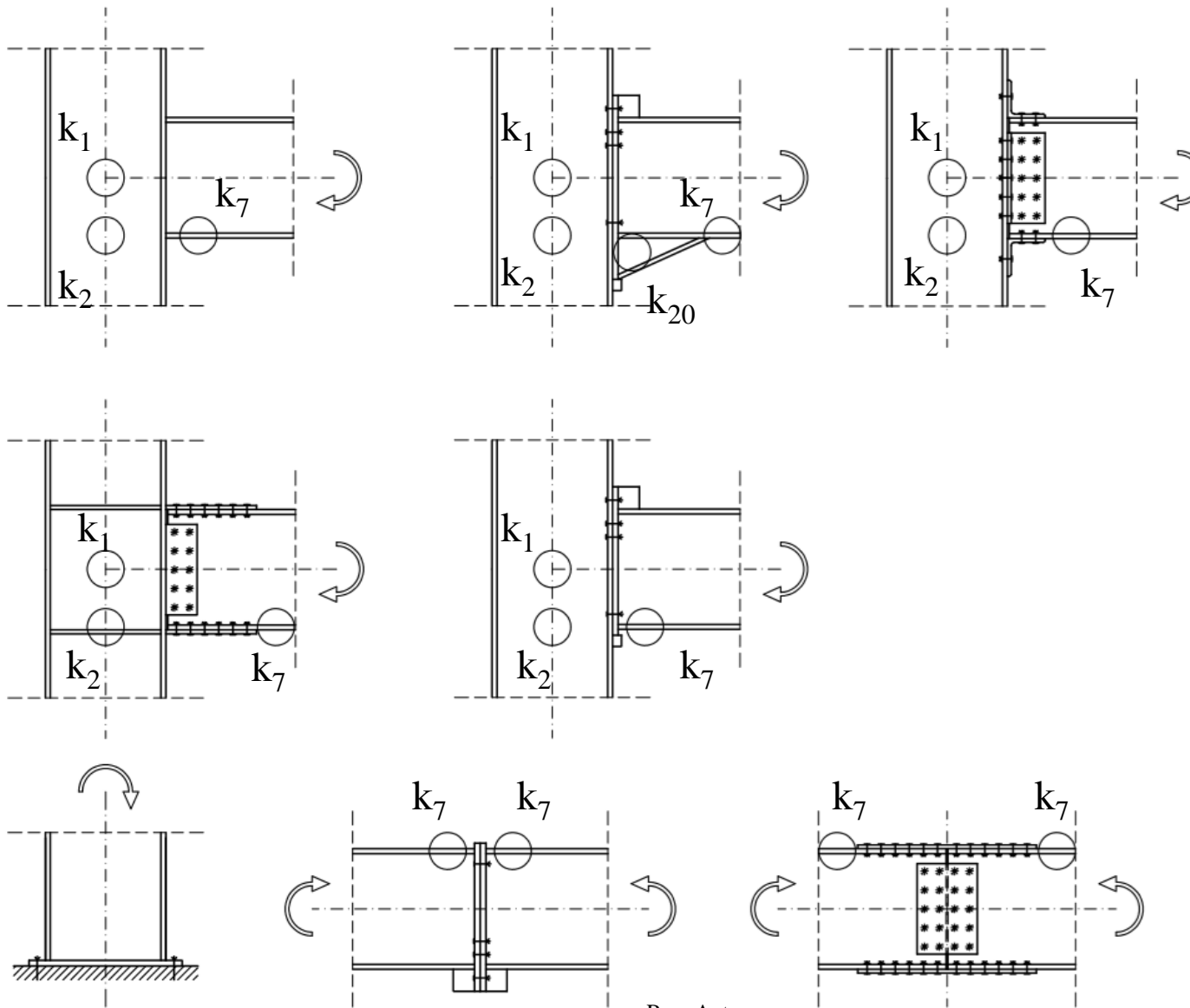


Figure 2. (a) Active components for bolted beam-to-column end-plate connections and (b) joint rotational stiffness according to EC3-1.8 (2003).

Rys: scielo.br



k_1 – poprzecznie
ściany średnik słupa;

k_2 – poprzecznie
ściskany średnik
słupa;

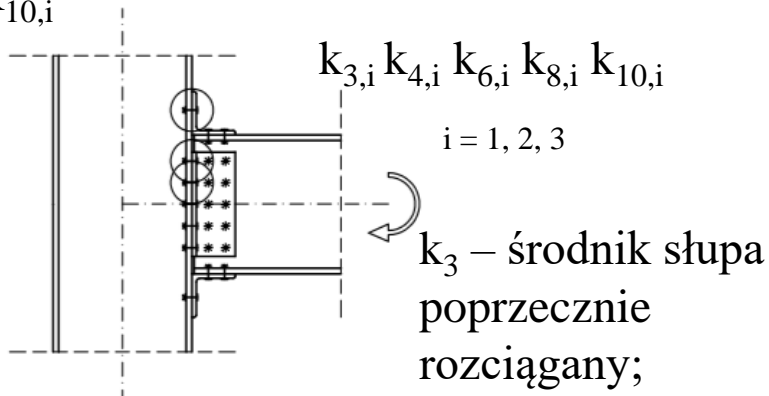
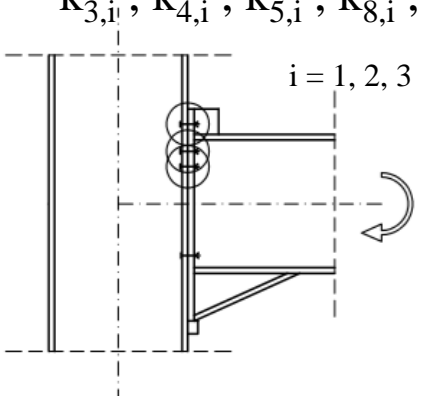
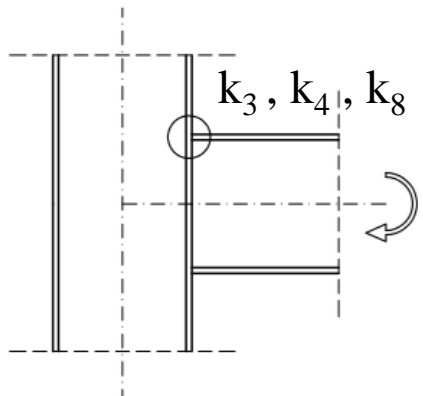
k_7 – ściskana półka
belki;

k_{19} – spoiny
(wszystkie)

k_{20} – ściskana belka
skośna;

Rys: Autor

$k_{3,i}, k_{4,i}, k_{5,i}, k_{8,i}, k_{10,i}$



k_3 – średnik słupa
poprzecznie
rozciągany;

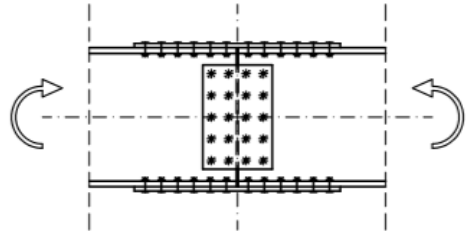
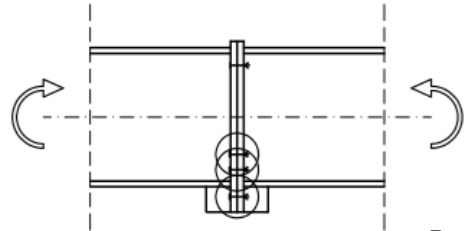
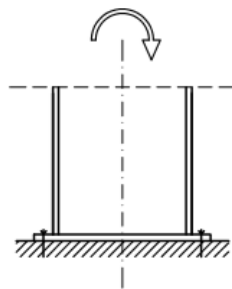
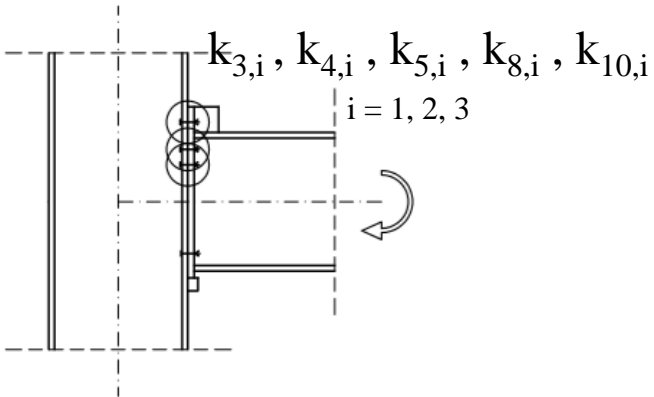
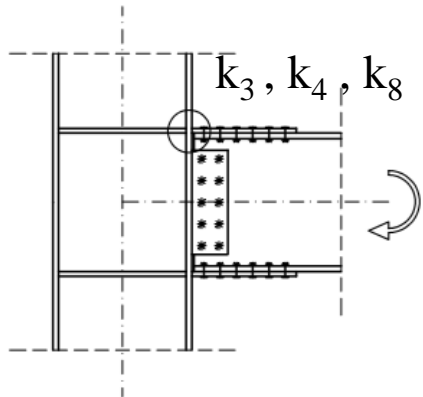
k_4 – zginana półka
słupa;

k_5 – zginana blacha
czołowa;

k_6 – zginana nakładka
kątowna;

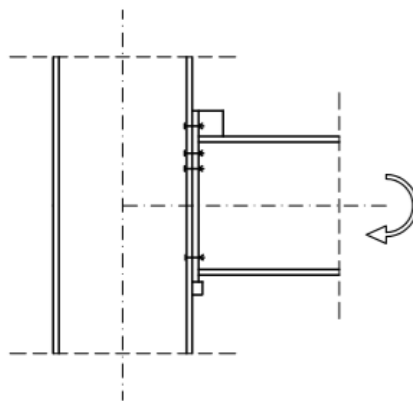
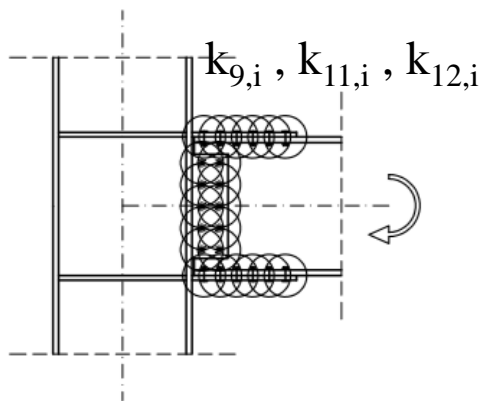
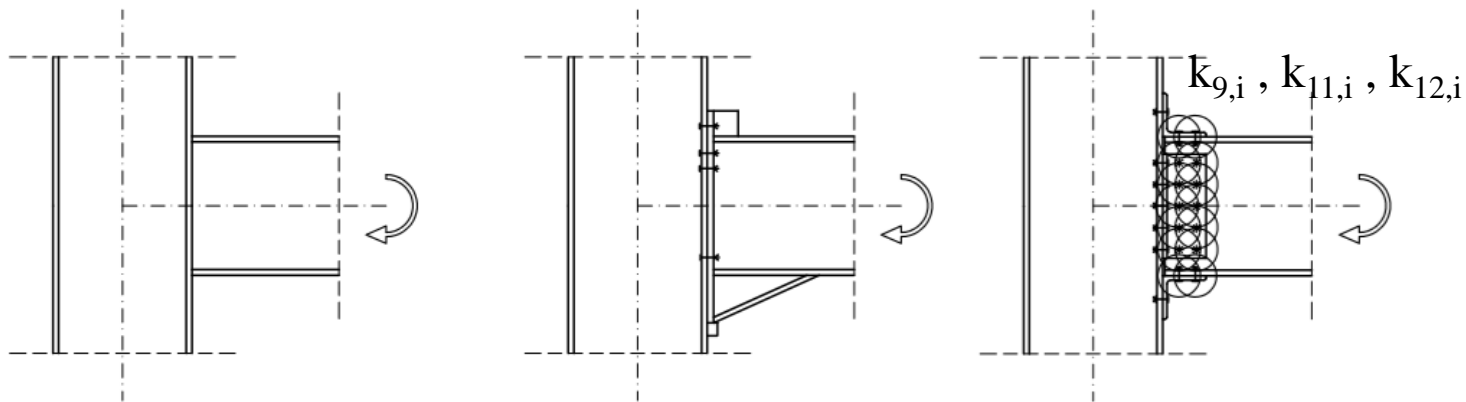
k_8 – rozciągany średnik
belki;

k_{10} – śruba rozciągana;



$i = 1, 2, 3$ $k_{5,i}, k_{8,i}, k_{10,i}$

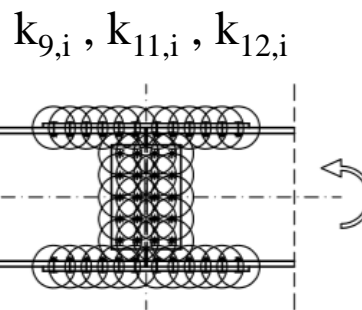
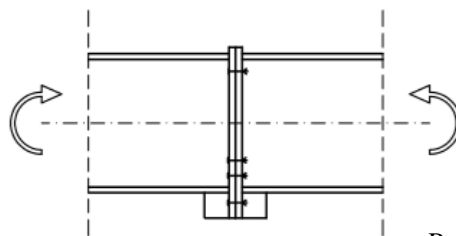
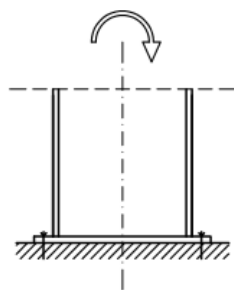
Rys: Autor



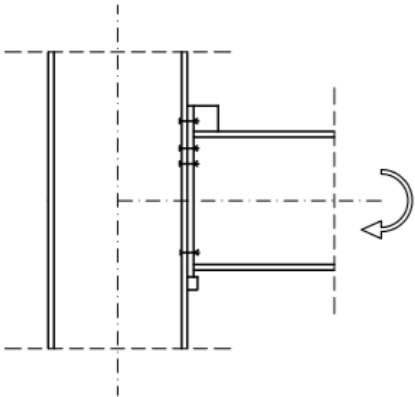
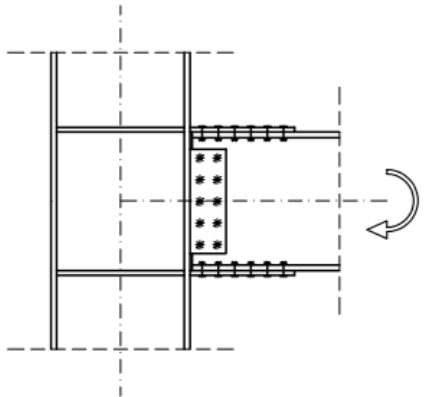
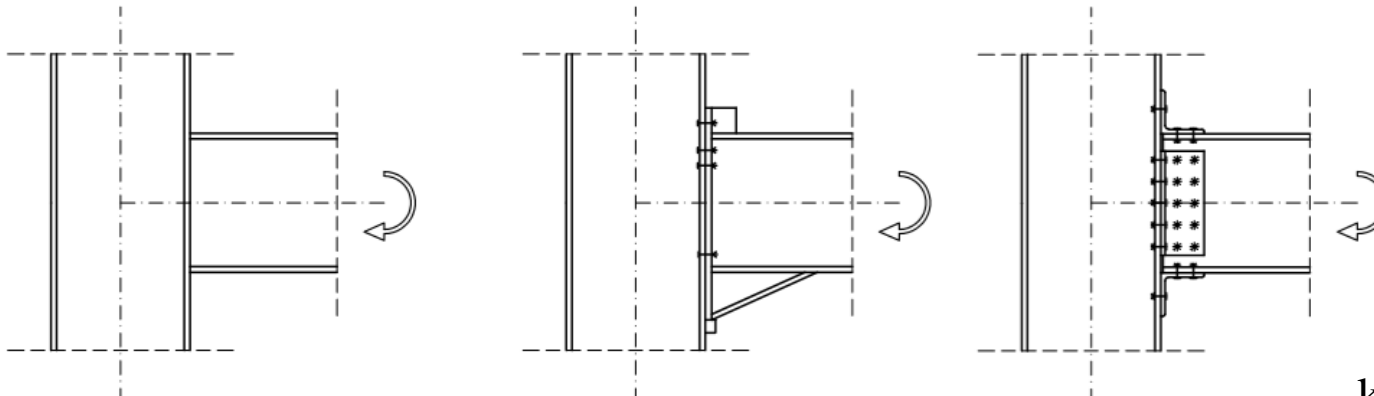
k_9 – blacha ściskana lub rozciągana;

k_{11} – śruba ścinana;

k_{12} – śruba w warunkach docisku;



Rys: Autor

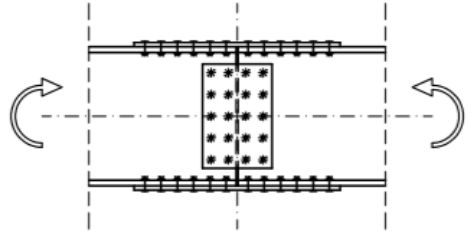
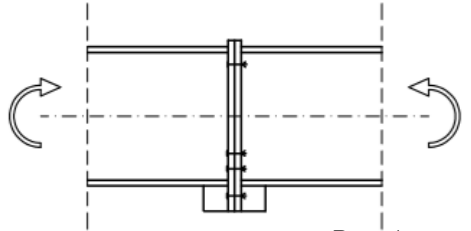
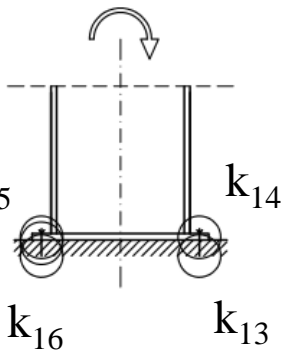


k_{13} – beton ściskany;
 k_{14} – blacha stopowa zginana przy docisku;

k_{15} – blacha stopowa zginana przy odrywaniu;
 k_{16} – kotew rozciągana;

k_{17} – kotew ścianana;

k_{18} – kotew w warunkach docisku;



Rys: Autor

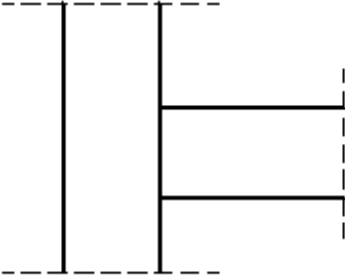
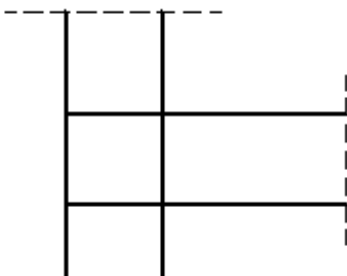
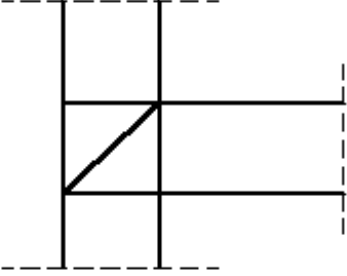
Wartość k_i

k_1

EN 1993-1-8 tab. 6.11

Środek słupa poprzecznie ścinany

Rys: Autor

		
$0,38 A_{vc} / \beta z$		$\rightarrow \infty$

$A_{vc} \rightarrow$ pole czynne środka $\approx h_w t_w$

$z \rightarrow \#t / 8, 9$

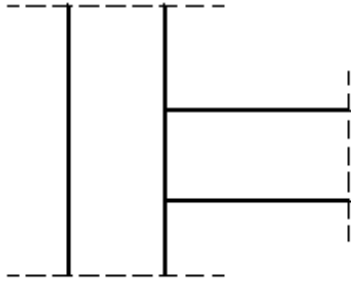
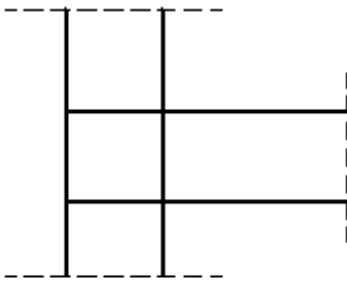
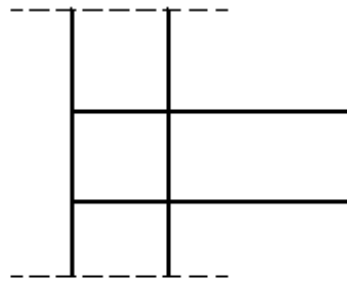
$\beta \rightarrow \#t / 10$

k_2

Środnik słupa poprzecznie ściskany

 k_3

Środnik słupa poprzecznie rozciągany

	Śrubowy, spawany	Śrubowy	spawany
			
k_2	$0,7 b_{\text{eff, c, wc}} t_{\text{wc}} / d_c$	$\rightarrow \infty$	
k_3	$0,7 b_{\text{eff, t, wc}} t_{\text{wc}} / d_c$		$\rightarrow \infty$

$$b_{\text{eff, t, wc}} \rightarrow \#t / 23 - 25, \#t / 27$$

EN 1993-1-8 tab. 6.11

Rys: Autor

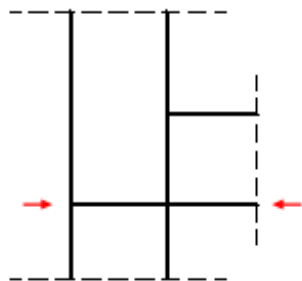
$$b_{\text{eff, c, wc}} \rightarrow \#t / 28$$

$$d_c = h_c - 2 t_{\text{fc}}$$

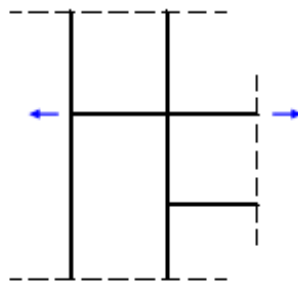
Uwaga

Eurokod definiuje nieskończone wartości k_1 , k_2 i k_3 ale brak wyjaśnienia, o jakie rozmieszczenie uźebrowania chodzi.

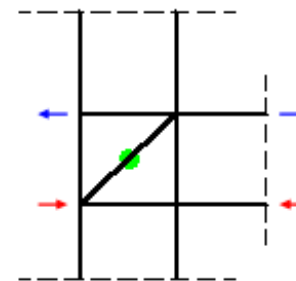
Zgodnie z literaturą obowiązuje zasada, że żebra są powiązane z rodzajem obciążenia:



$$k_1 \rightarrow \infty$$



$$k_2 \rightarrow \infty$$



$$k_3 \rightarrow \infty$$

Rys: Autor

k_4

Zginana półka słupa

$$0,9 l_{\text{eff}} t_{\text{fc}}^3 / \text{m}^3$$

k_5

Zginana blacha czołowa

$$0,9 l_{\text{eff}} t_{\text{p}}^3 / \text{m}^3$$

k_6

Zginana nakładka kątowna

$$0,9 l_{\text{eff}} t_{\text{a}}^3 / \text{m}^3$$

$$m \rightarrow \#t / 6$$

$$l_{\text{eff}} \rightarrow \#t / 23 - 25, \#t / 28$$

$$t_x \rightarrow \text{grubość: półki słupa / blachy czołowej / ramienia kątownika}$$

k_7

Ściskana półka belki

 k_8

Rozciągany środek belki

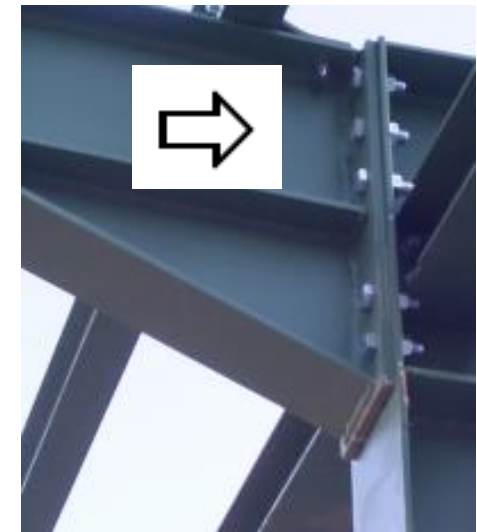
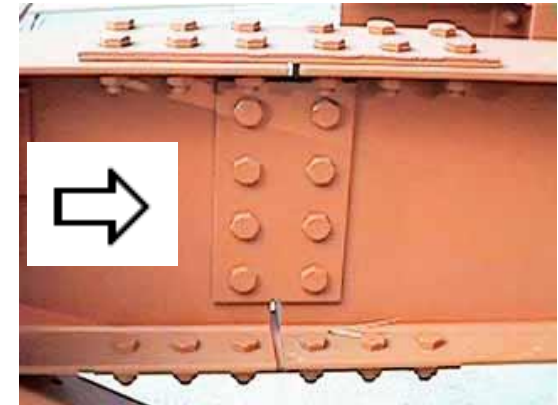
 k_9

Blacha ściskana lub rozciągana

EN 1993-1-8 tab. 6.11 – brak informacji o wartościach. Części te są ważne tylko dla nośności, nie sztywności. Te trzy przypadki dotyczą sztywności płaskiego elementu ściskanego lub rozciąganego w jego płaszczyźnie. Sztywność ta jest tak duża, że można przyjąć

$$\rightarrow \infty$$

Sztywność węzła jako całości jest w proporcjonalna do $\Sigma (1 / k_i)$. Gdy k_i dąży do nieskończoności, odwrotność dąży do 0. Te części nie wywierają wpływu na obliczenia sztywności całkowitej.



Rys: resources.scia.net

$$k_{10} \quad 1,6 A_s / L_b$$

EN 1993-1-8 tab. 6.11

Śruby rozciągane

$$L_b, A_s \rightarrow \#t / 18$$

k_{11}

Śruby ścinane

k_{12}

Śruby w warunkach
docisku

Kategoria	A	B, C
k_{11}	$16 n_b d^2 f_{ub} / (E d_{M16})$	$\rightarrow \infty$
k_{12}	$24 n_b k_b k_t d f_u / E$	$\rightarrow \infty$

d – średnica śruby

$$d_{M16} = 16 \text{ mm}$$

n_b = ilość rzędów śrub

$$k_b = \min (1,25 \quad ; \quad 0,25 e_b / d + 0,5 \quad ; \quad 0,25 p_b / d + 0,375)$$

$$k_t = \min (2,5 \quad ; \quad 1,5 t_j / d_{M16})$$

$$e_b, p_b \rightarrow \#t / 7$$

k_{13}

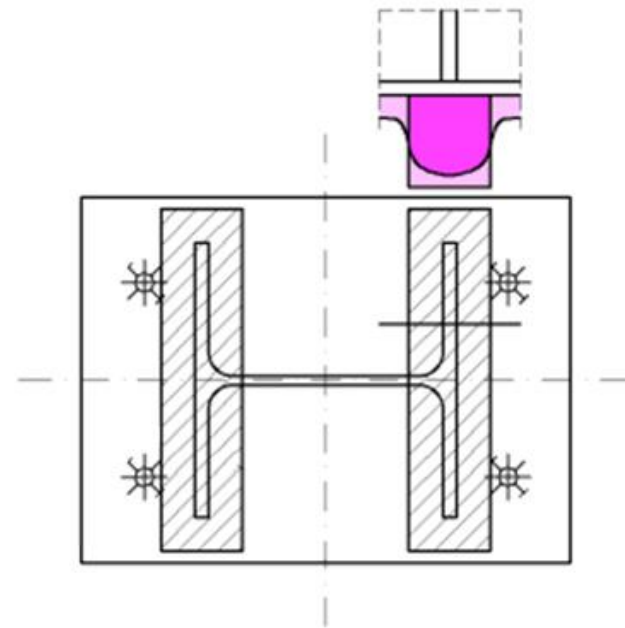
Beton ściskany (łącznie z podlewką)

EN 1993-1-8 tab. 6.11

$$E_c \sqrt{(b_{\text{eff}} l_{\text{eff}}) / (1,275 E)}$$

$$b_{\text{eff}}, l_{\text{eff}} = b_{\text{eff}}, l_{\text{eff}} (c = 1,25 t_p)$$

$$c \rightarrow \#t / 12$$



Rys: Autor

k_{14}

Blacha stopowa zginana w warunkach docisku

EN 1993-1-8 tab. 6.11 – wzięte pod uwagę w wartości k_{13} . Część istotna dla nośności, nie sztywności

k_{15}

Blacha stopowa zginana przy
odrywaniu

 k_{16}

Kotwie rozciągane

	Efekt dźwigni	Bez efektu dźwigni
k_{15}	$0,85 l_{\text{eff}} t_p^3 / \text{m}^3$	$0,425 l_{\text{eff}} t_p^3 / \text{m}^3$
k_{16}	$1,6 A_s / L_b$	$2,0 A_s / L_b$

EN 1993-1-8 tab. 6.11

$m \rightarrow \#t / 6$

Efekt dźwigni $\rightarrow \#t / 15 - 18$

$L_b, A_s \rightarrow \#t / 18$

$l_{\text{eff}} \rightarrow \#t / 42$

k_{17}

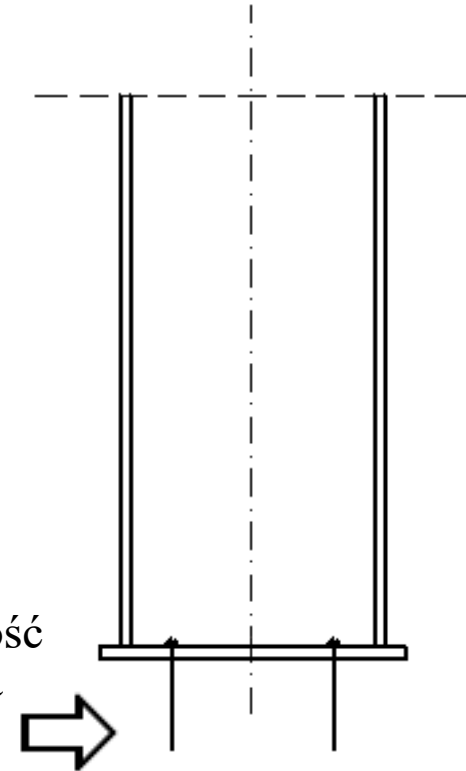
Kotew ścinana

k_{18}

Kotew w warunkach docisku

EN 1993-1-8 tab. 6.11 – Brak informacji o wartości. Część ważna dla nośności, nie dla sztywności

Ścinanie i docisk zachodzą w kierunku poziomym. Sztywność podstawy słupa analizuje się w kierunku pionowym. Te dwa elementy nie mają wpływu na sztywność.



k_{19}

Spoiny

k_{20}

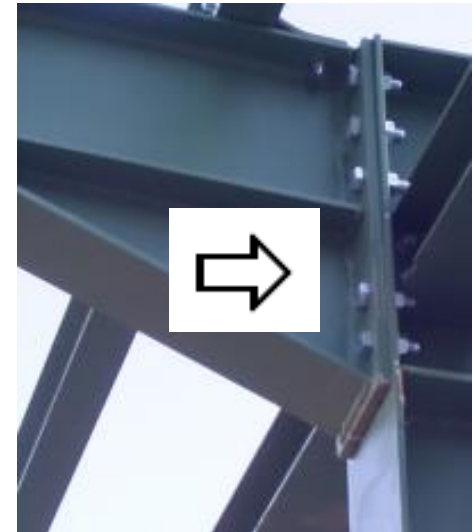
Skos belki

EN 1993-1-8 tab. 6.11 – Brak informacji o wartości. Część ważna dla nośności, nie dla sztywności

Spoiny są zbyt drobnymi składnikami, by miały realny wpływ na sztywność.

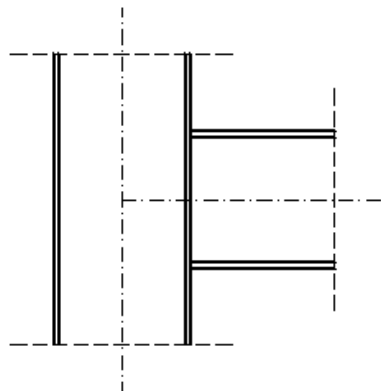
Skos belki jest masywnym sztywnym elementem:

→ ∞

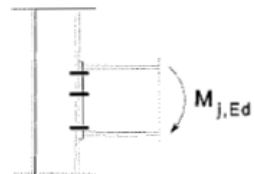


Rys: resources.scia.net

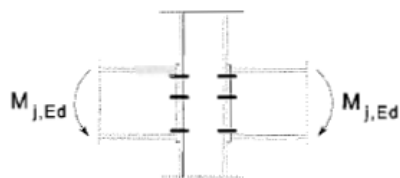
Modele sprężynkowe



Rys: Autor

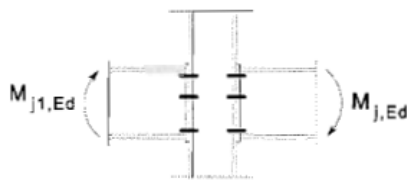


$k_1 ; k_2 ; k_3$



$$M_{j, Ed, l} = - M_{j, Ed, r}$$

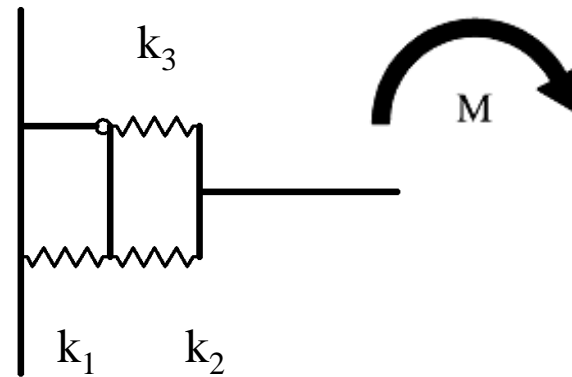
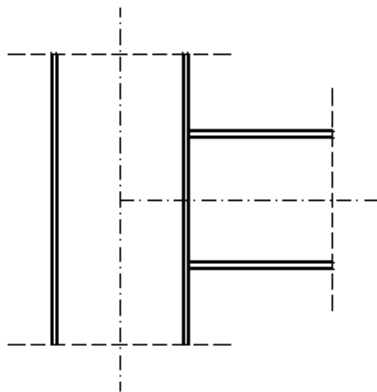
$k_2 ; k_3$



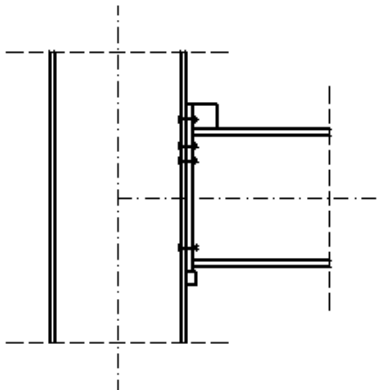
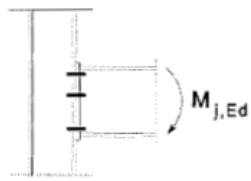
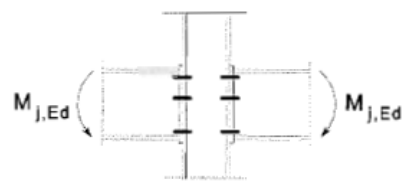
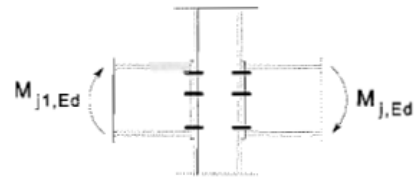
$$M_{j, Ed, l} \neq - M_{j, Ed, r}$$

$k_1 ; k_2 ; k_3$

EN 1993-1-8 tab. 6.9 tab. 6.10

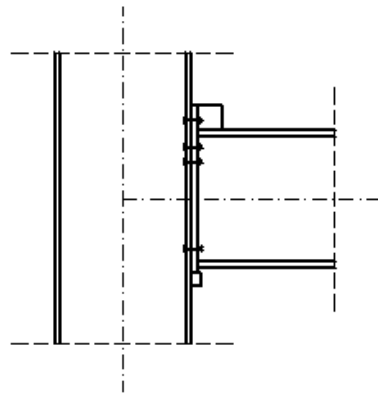


Rys: Autor

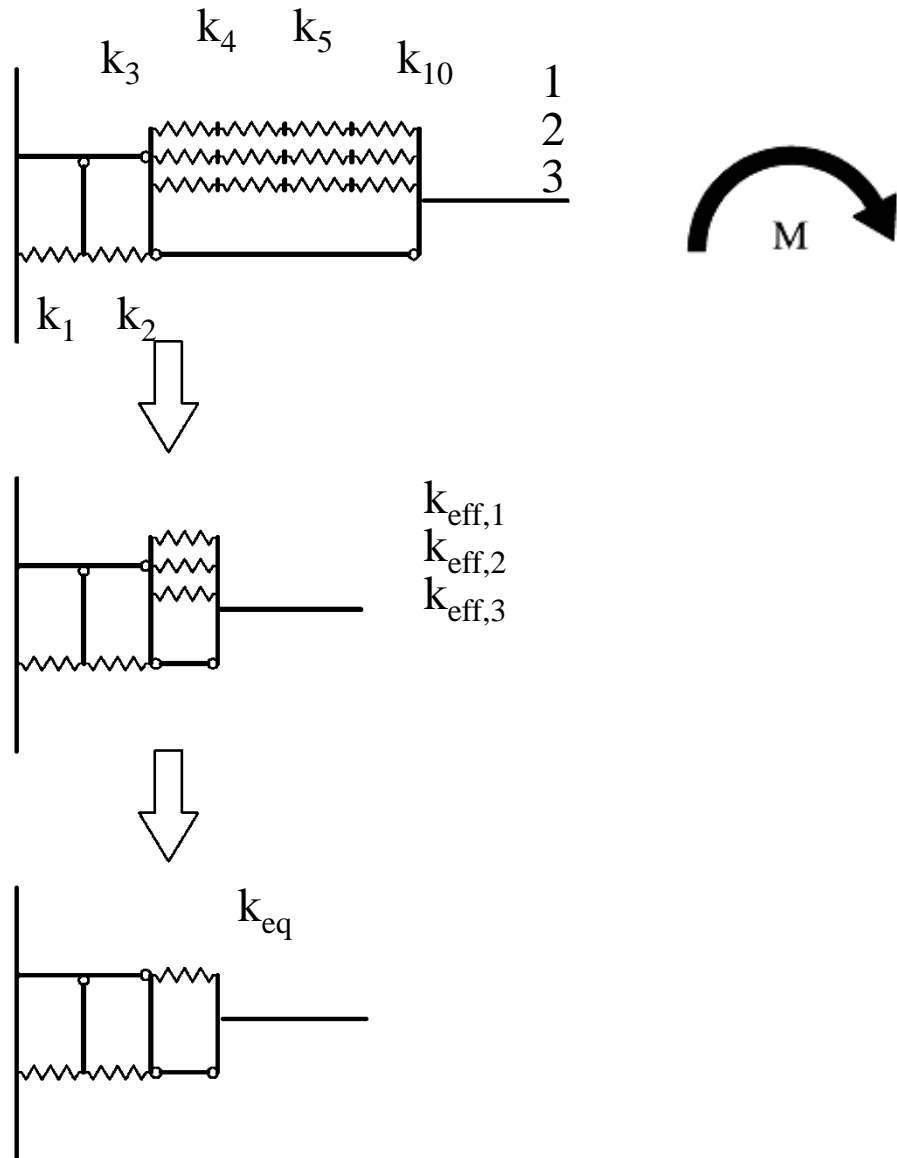
		Jeden szereg śrub rozciąganych	$k_1 ; k_2 ; k_3 ; k_4 ; k_5 ; k_{10}$
		Dwa lub więcej	$k_1 ; k_2 ; k_{eq}$
	 $M_{j, Ed, l} = - M_{j, Ed, r}$	Jeden szereg śrub rozciąganych	$k_2 ; k_3 ; k_4 ; k_5 ; k_{10}$
		Dwa lub więcej	$k_2 ; k_{eq}$
	 $M_{j, Ed, l} \neq - M_{j, Ed, r}$	Jeden szereg śrub rozciąganych	$k_1 ; k_2 ; k_3 ; k_4 ; k_5 ; k_{10}$
		Dwa lub więcej	$k_1 ; k_2 ; k_{eq}$

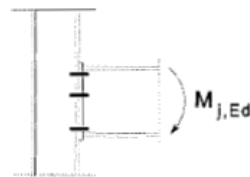
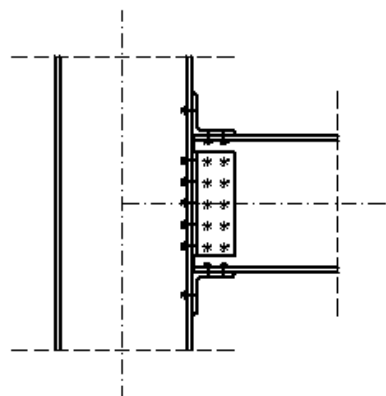
Rys: Autor

EN 1993-1-8 tab. 6.9 tab. 6.10

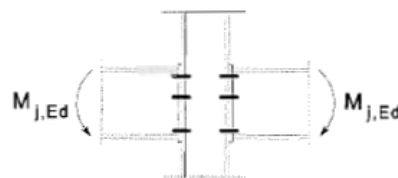


Rys: Autor



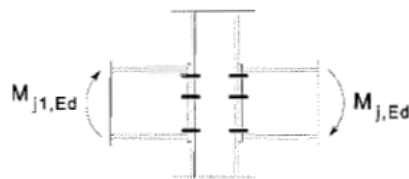


$k_1 ; k_2 ; k_3 ; k_4 ; k_6 ; k_{10} ; k_{11}^{tf} ;$
 $k_{11}^{bf} ; k_{12}^{tf} ; k_{12}^{bf} ; k_{12}^{tL} ; k_{12}^{bL}$



$$M_{j, Ed, l} = - M_{j, Ed, r}$$

$k_2 ; k_3 ; k_4 ; k_6 ; k_{10} ; k_{11}^{tf} ; k_{11}^{bf} ;$
 $k_{12}^{tf} ; k_{12}^{bf} ; k_{12}^{tL} ; k_{12}^{bL}$

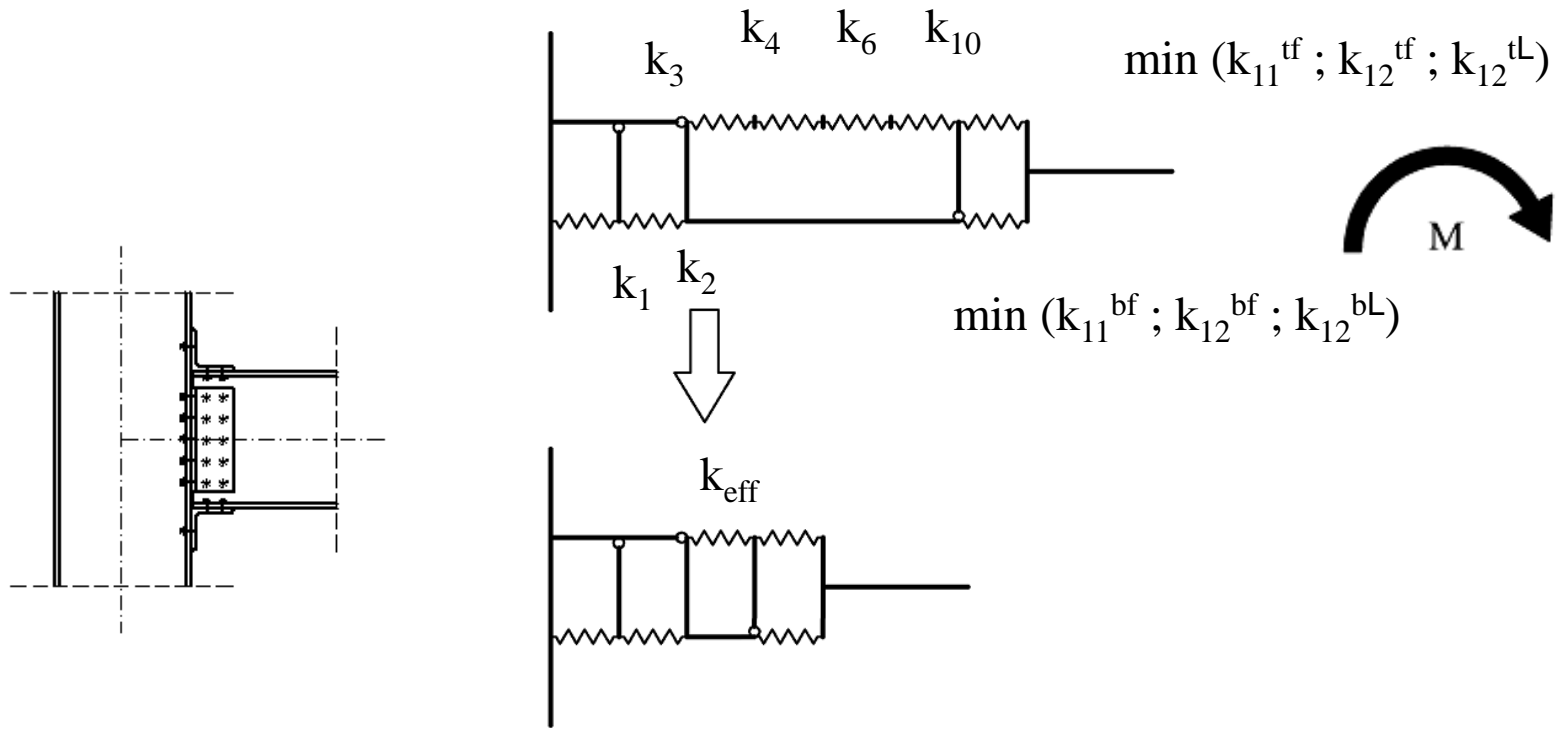


$$M_{j, Ed, l} \neq - M_{j, Ed, r}$$

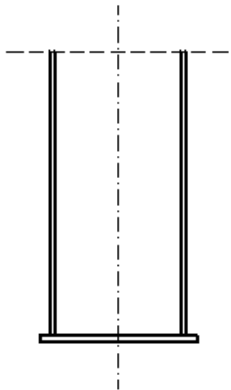
$k_1 ; k_2 ; k_3 ; k_4 ; k_6 ; k_{10} ; k_{11}^{tf} ;$
 $k_{11}^{bf} ; k_{12}^{tf} ; k_{12}^{bf} ; k_{12}^{tL} ; k_{12}^{bL}$

Rys: Autor

EN 1993-1-8 tab. 6.9 tab. 6.10

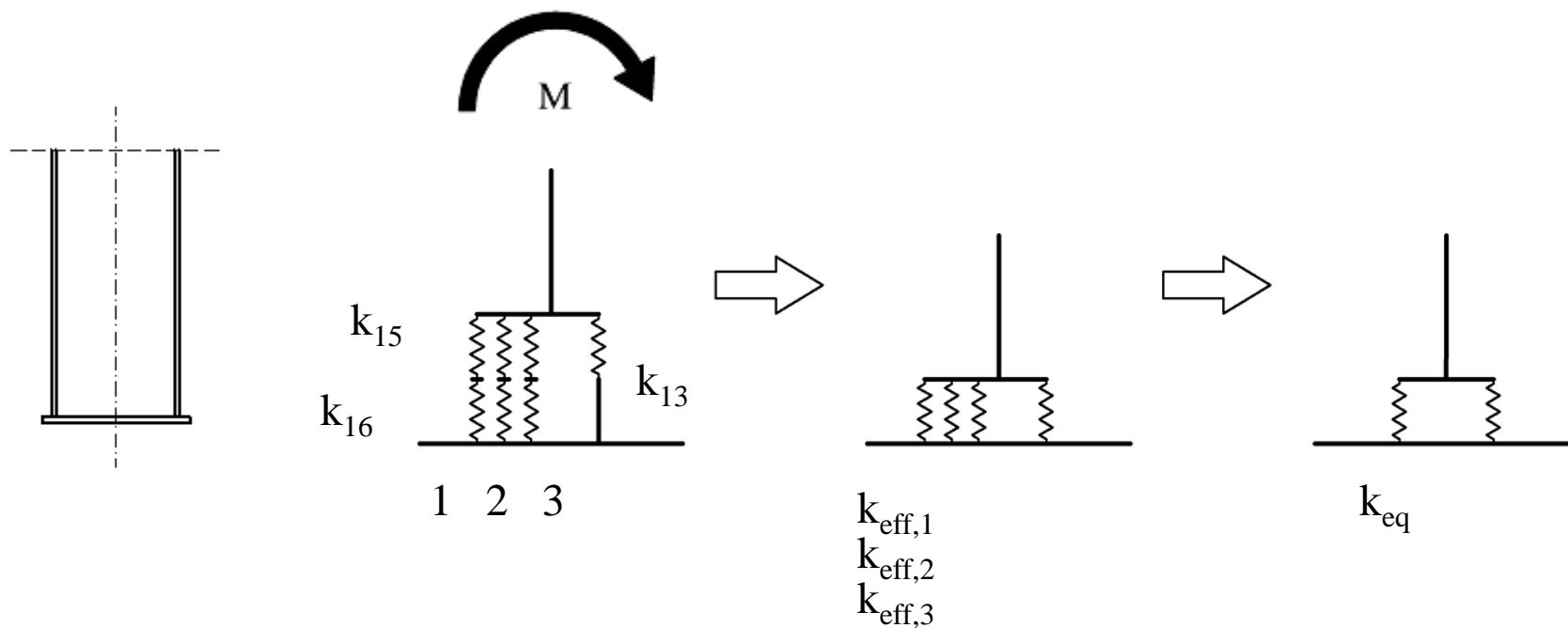


Rys: Autor

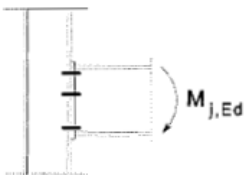
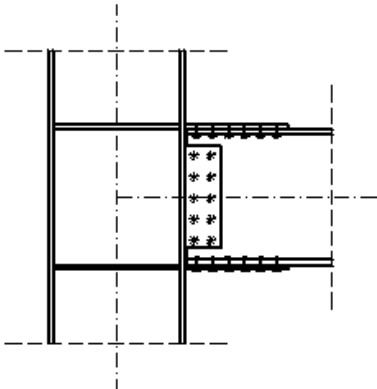
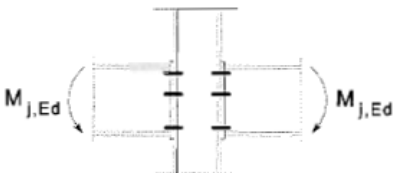
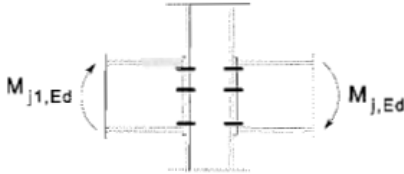
	Jeden szereg śrub rozciąganych	$k_{13} ; k_{15} ; k_{16}$
	Dwa lub więcej	$k_{13}^1 ; k_{15}^1 ; k_{16}^1 ; k_{13}^2 ; k_{15}^2 ; k_{16}^2 ; k_{13}^3 ; k_{15}^3 ; k_{16}^3 \dots$

EN 1993-1-8 tab. 6.9 tab. 6.10

Rys: Autor

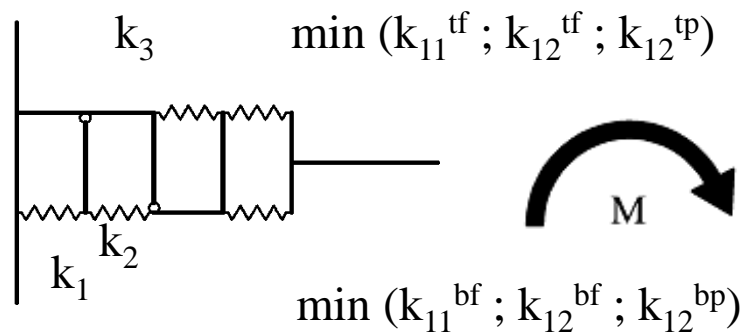
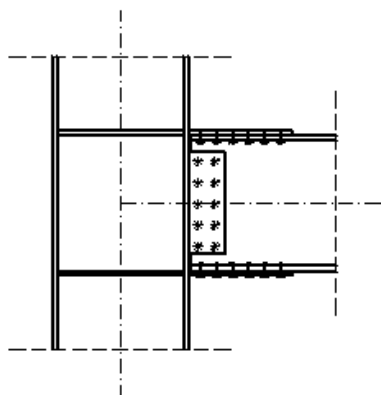


Rys: Autor

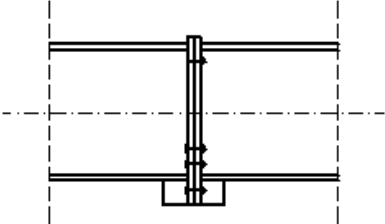
		$k_1 ; k_2 ; k_3 ;$ $k_{11}^{tf} ; k_{11}^{bf} ; k_{12}^{tf} ; k_{12}^{bf} ; k_{12}^{tp} ;$ k_{12}^{bp}
	 $M_{j, Ed, l} = - M_{j, Ed, r}$	$k_2 ; k_3 ;$ $k_{11}^{tf} ; k_{11}^{bf} ; k_{12}^{tf} ; k_{12}^{bf} ; k_{12}^{tp} ;$ k_{12}^{bp}
	 $M_{j, Ed, l} \neq - M_{j, Ed, r}$	$k_1 ; k_2 ; k_3 ;$ $k_{11}^{tf} ; k_{11}^{bf} ; k_{12}^{tf} ; k_{12}^{bf} ; k_{12}^{tp} ;$ k_{12}^{bp}

Rys: Autor

Analogicznie do EN 1993-1-8 tab. 6.9 tab. 6.10

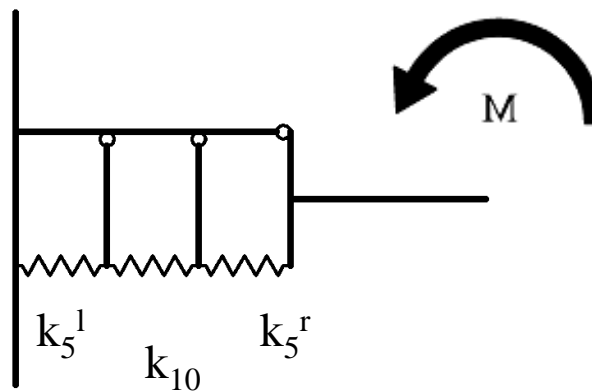
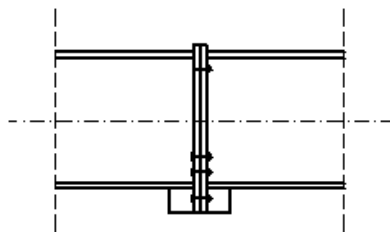


Rys: Autor

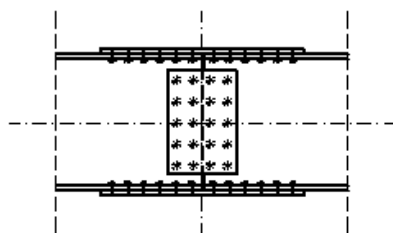
	Jeden szereg śrub rozciąganych	$k_5^l ; k_5^r ; k_{10}$
	Dwa lub więcej	k_{eq}

Analogicznie do EN 1993-1-8 tab. 6.9 tab. 6.10

Rys: Autor



Rys: Autor



$$k_{11}^{tfl} ; k_{11}^{bfl} ; k_{12}^{tfl} ; k_{12}^{bfl} ; k_{12}^{tpl} ; k_{12}^{bpl} ;$$

$$k_{11}^{tfr} ; k_{11}^{bfr} ; k_{12}^{tfr} ; k_{12}^{bfr} ; k_{12}^{tpr} ; k_{12}^{bpr}$$

Analogicznie do EN 1993-1-8 tab. 6.9 tab. 6.10

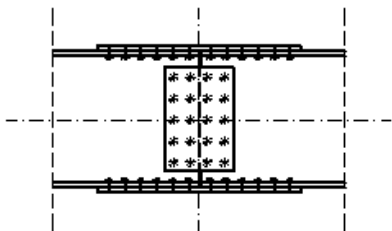
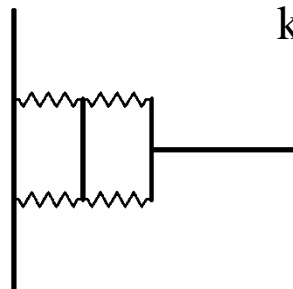
Rys: Autor

$$k_{11}^{tfl} ; k_{12}^{tfl} ; k_{12}^{tpl}$$

$$k_{11}^{bfl} ; k_{12}^{bfl} ; k_{12}^{bpl}$$

$$k_{11}^{tfr} ; k_{12}^{tfr} ; k_{12}^{tpr}$$

$$k_{11}^{bfr} ; k_{12}^{bfr} ; k_{12}^{bpr}$$



Rys: Autor

Sztywność efektywna i zastępcza

$$k_{eq} = \Sigma (k_{eff, r} h_r) / z_{eq}$$

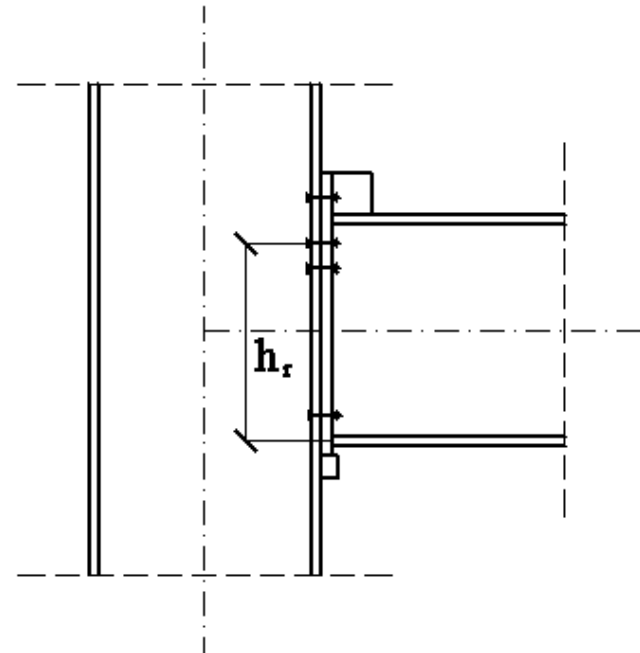
EN 1993-1-8 (6.29)

$$k_{eff, r} = 1 / \Sigma (1 / k_{i, r})$$

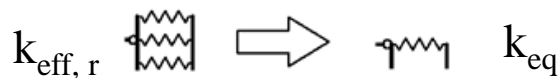
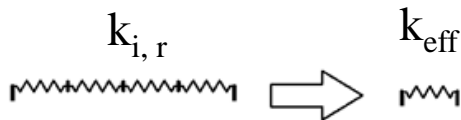
$$z_{eq} = \Sigma (k_{eff, r} h_r^2) / \Sigma (k_{eff, r} h_{ri})$$

$$k_{i, r} = k_{3, r}, k_{4, r}, k_{5, r}, k_{10, r}$$

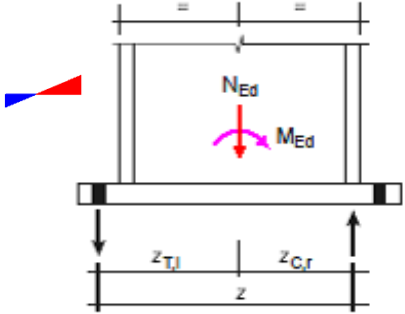
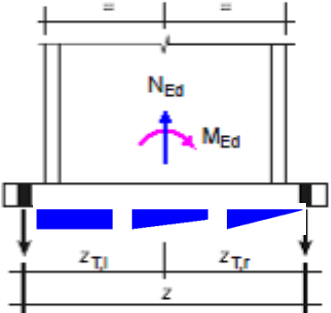
h_r – ramię siły, takie samo jak dla nośności



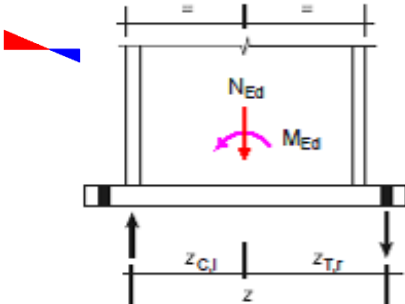
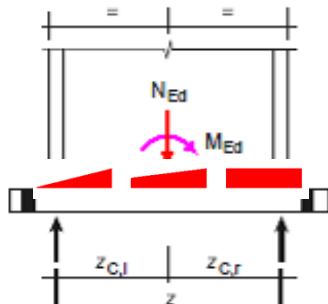
Rys: Autor



Rys: Autor

Obciążenie	Ramię	Sztywność $S_{j, ini}$	
<p>Lewe-rozc., Prawe-ścisk., przykład: $M_{Ed} > 0$; $N_{Ed} < 0$</p> 	<p>$z = z_{T,l} + z_{C,r}$</p> <p>$e = M_{Ed} / N_{Ed}$</p>	<p>$N_{Ed} > 0$ $e > z_{T,l}$</p>	<p>$N_{Ed} \leq 0$ $e \leq -z_{C,r}$</p>
		<p>$E z^2 e / \{ \mu (e + e_k) [(1 / k_{T,l}) + (1 / k_{C,r})] \}$</p> <p>$e_k = (z_{C,r} k_{C,r} - z_{T,l} k_{T,l}) / (k_{T,l} + k_{C,r})$</p>	
<p>Lewe-rozc., Prawe-rozc., przykład: $M_{Ed} > 0$; $N_{Ed} > 0$</p> 	<p>$z = z_{T,l} + z_{T,r}$</p> <p>$e = M_{Ed} / N_{Ed}$</p>	<p>$N_{Ed} > 0$ $0 < e < z_{T,l}$</p>	<p>$N_{Ed} > 0$ $-z_{T,r} < e \leq 0$</p>
		<p>$E z^2 e / \{ \mu (e + e_k) [(1 / k_{T,l}) + (1 / k_{T,r})] \}$</p> <p>$e_k = (z_{T,r} k_{T,r} - z_{T,l} k_{T,l}) / (k_{T,l} + k_{T,r})$</p>	

EN 1993-1-8 tab. 6.12, część pierwsza

Obciążenie	Ramię	Sztywność $S_{j, ini}$	
<p>Lewe-ścisk., Prawe-rozc., przykład:</p> <p>$M_{Ed} < 0$; $N_{Ed} < 0$</p> 	<p>$z = z_{C,1} + z_{T,r}$</p> <p>$e = M_{Ed} / N_{Ed}$</p>	<p>$N_{Ed} > 0 \quad e \leq -z_{T,r}$</p>	<p>$N_{Ed} \leq 0 \quad e > z_{C,1}$</p>
		<p>$E z^2 e / \{ \mu (e + e_k) [(1 / k_{C,1}) + (1 / k_{T,r})] \}$</p> <p>$e_k = (z_{T,r} k_{T,r} - z_{C,1} k_{C,1}) / (k_{C,1} + k_{T,r})$</p>	
<p>Lewe-ścisk., Prawe-ścisk., przykład:</p> <p>$M_{Ed} > 0$; $N_{Ed} < 0$</p> 	<p>$z = z_{C,1} + z_{C,r}$</p> <p>$e = M_{Ed} / N_{Ed}$</p>	<p>$N_{Ed} \leq 0 \quad 0 < e < z_{C,1}$</p>	<p>$N_{Ed} \leq 0 \quad -z_{C,r} < e \leq 0$</p>
		<p>$E z^2 e / \{ \mu (e + e_k) [(1 / k_{C,1}) + (1 / k_{C,r})] \}$</p> <p>$e_k = (z_{C,r} k_{C,r} - z_{C,1} k_{C,1}) / (k_{C,1} + k_{C,r})$</p>	

EN 1993-1-8 tab. 6.12, część druga

$$k_{T,1} = k_{15,1} + k_{16,1}$$

$$k_{T,r} = k_{15,r} + k_{16,r}$$

$$k_{C,1} = k_{13,1}$$

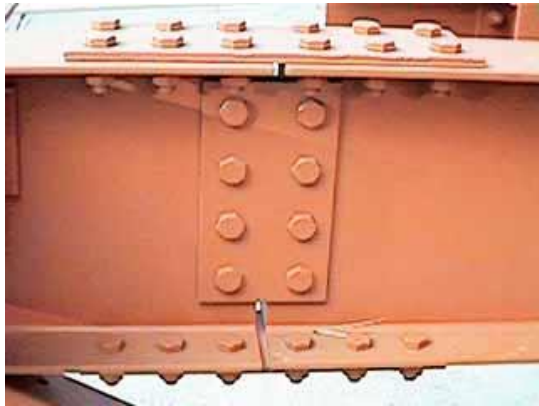
$$k_{C,r} = k_{13,r}$$

$\mu \rightarrow \#14 / 77 - 79$

EN 1993-1-8 6.3.4 (1)

Przykłady

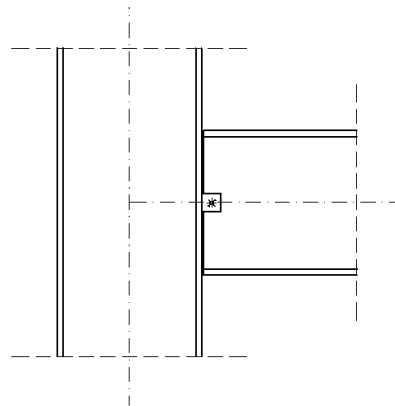
Rys: amsd.co.uk



Rys: microstran.com.au

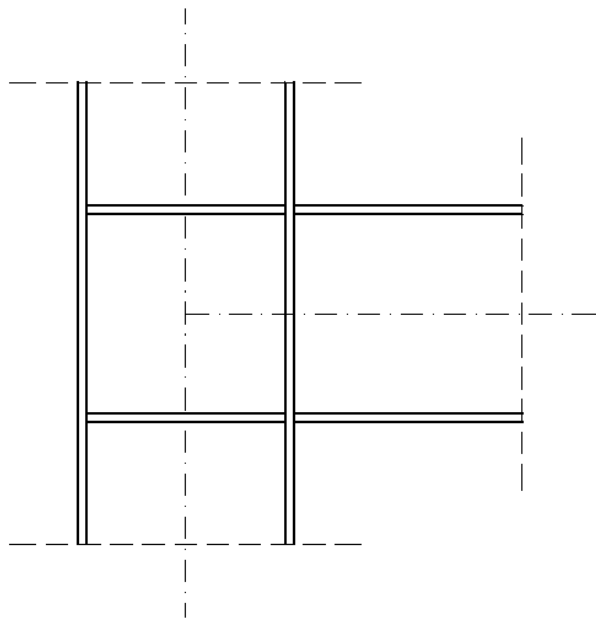


Rys: j-p.com.ua



Rys: Autor

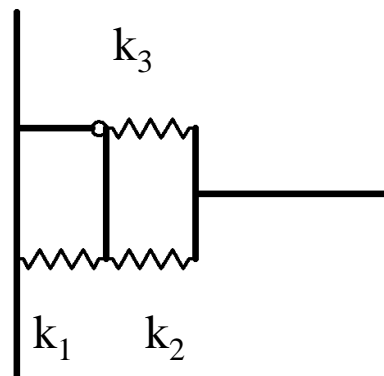
k_1, k_2, k_3



Węzeł spawany, żebra poziome.

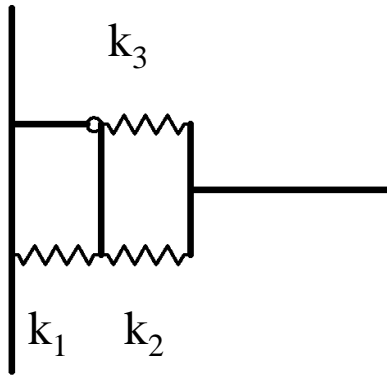


Rys: microstran.com.au



Rys: Autor

Węzeł spawany, żebra poziome.



$$k_1 \rightarrow \infty \quad (\#t / 36)$$

$$k_2 \rightarrow \infty \quad (\#t / 37)$$

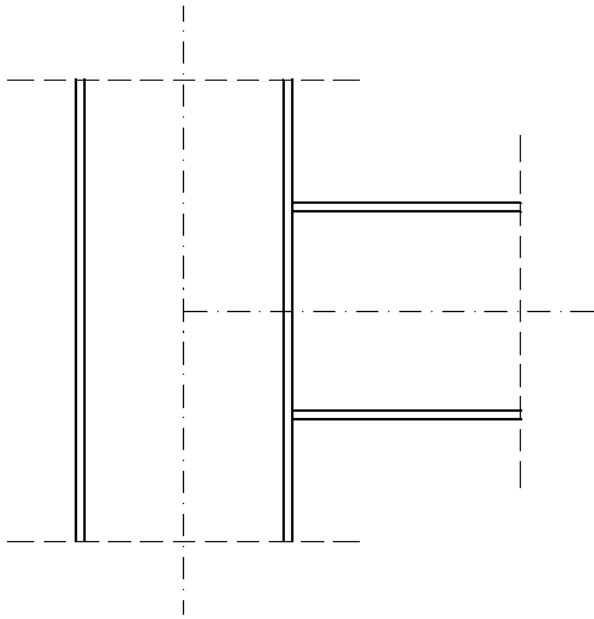
$$k_3 \rightarrow \infty \quad (\#t / 37)$$

$$\begin{aligned} S_{j, ini} &= E z^2 / [\Sigma (1 / k_i)] = \\ &= E z^2 / [(1 / \infty) + (1 / \infty) + (1 / \infty)] \rightarrow \\ &\rightarrow E z^2 / (0 + 0 + 0) \rightarrow \infty \end{aligned}$$

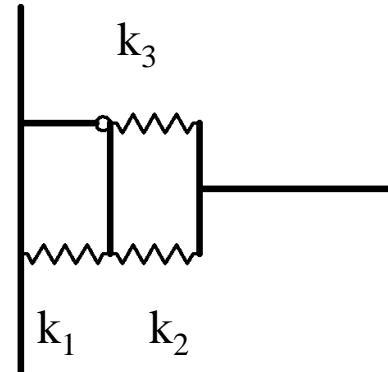
$$S_{j, ini} \rightarrow \infty \rightarrow \text{węzeł sztywny}$$

Rys: Autor

k_1, k_2, k_3

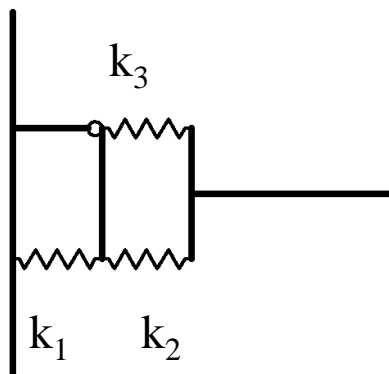


Węzeł spawany, brak
żeber poziomych.



Rys: Autor

Węzeł spawany, brak żeber poziomych.



$$k_1 \ll \infty \text{ (\#t / 36)}$$

$$k_2 \ll \infty \text{ (\#t / 37)}$$

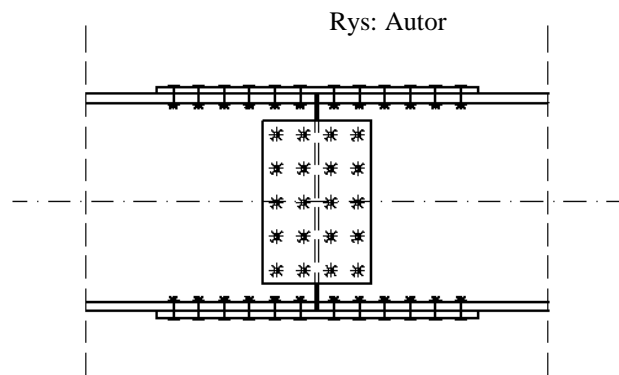
$$k_3 \ll \infty \text{ (\#t / 37)}$$

$$S_{j, ini} = E z^2 / [\Sigma (1 / k_i)] \ll \infty$$

$S_{j, ini} \ll \infty \rightarrow$ sztywny, podatny lub przegubowy

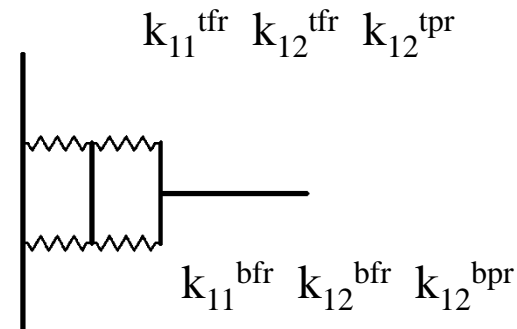
Rys: Autor

Styk uniwersalny, kategoria B lub C.



$$k_{11}^{tfl} \quad k_{12}^{tfl} \quad k_{12}^{tpl}$$

$$k_{11}^{bfl} \quad k_{12}^{bfl} \quad k_{12}^{bpl}$$



$$k_{11}^{tfl} ; k_{11}^{bfl} ; k_{12}^{tfl} ; k_{12}^{bfl} ; k_{12}^{tpl} ; k_{12}^{bpl} ;$$

$$k_{11}^{tfr} ; k_{11}^{bfr} ; k_{12}^{tfr} ; k_{12}^{bfr} ; k_{12}^{tpr} ; k_{12}^{bpr} \rightarrow k_{eff}$$

Istnieją po 3 współczynniki dla każdego
rzędu śrub: ostatecznie jest 36 sprężyn dla
górných i 36 dla dolnych w tym przypadku.



Rys: amsd.co.uk

Styk uniwersalny, kategoria B lub C.

$$k_{11}^i \rightarrow \infty \quad (\#t / 41)$$

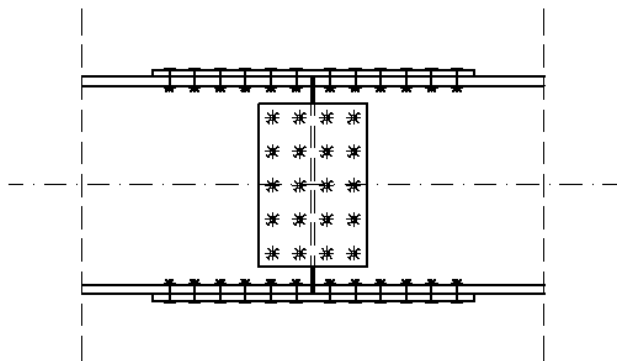
$$k_{12}^i \rightarrow \infty \quad (\#t / 41)$$

$$\min(k_{11}^i; k_{12}^j; k_{12}^k) \rightarrow \infty$$

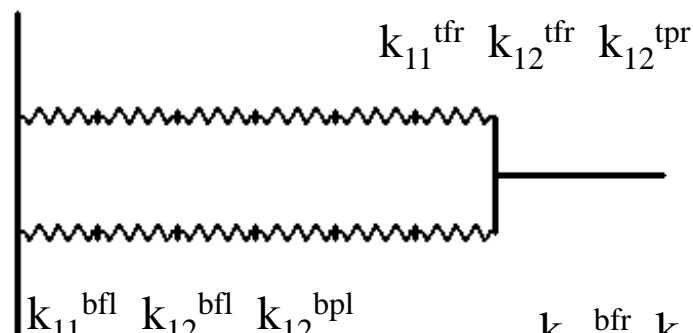
$$\begin{aligned} S_{j, ini} &= E z^2 / (1 / k^{\text{górn}} \text{ lewy} + 1 / k^{\text{górn}} \text{ prawy} + \\ &\quad + 1 / k^{\text{dół}} \text{ lewy} + 1 / k^{\text{dół}} \text{ prawy}) = \\ &= E z^2 / (1 / \infty + 1 / \infty + 1 / \infty + 1 / \infty) \rightarrow \\ &\quad \rightarrow E z^2 / (0 + 0 + 0 + 0) \rightarrow \infty \end{aligned}$$

$$S_{j, ini} \rightarrow \infty \rightarrow \text{węzeł sztywny}$$

Styk uniwersalny,
kategoria A.



k_{11}^{tfl} k_{12}^{tfl} k_{12}^{tpl}



k_{11}^{bfr} k_{12}^{bfr} k_{12}^{bpr}

Są tu 3 dla każdego szeregu śrub: w sumie daje to 36 na górze i 36 na dole

$$k_{11}^{tfl}; k_{11}^{bfl}; k_{12}^{tfl}; k_{12}^{bfl}; k_{12}^{tpl}; k_{12}^{bpl}; k_{11}^{tfr}; k_{11}^{bfr}; k_{12}^{tfr}; k_{12}^{bfr}; k_{12}^{tpr}; k_{12}^{bpr} \rightarrow k_{eff}$$

Rys: Autor

Styk uniwersalny, kategoria A.

$$k_{11}^i \ll \infty \quad (\#t / 41)$$

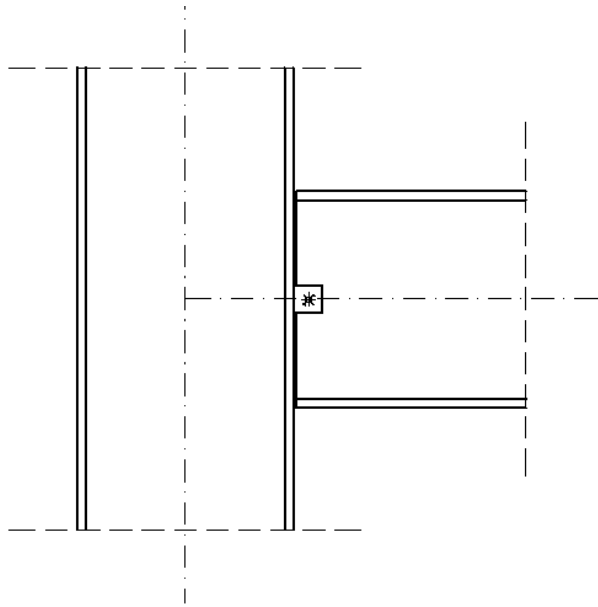
$$k_{12}^i \ll \infty \quad (\#t / 41)$$

$$k_{\text{eff}} = 1 / \Sigma (1 / k_i) \ll \infty$$

$$S_{j, \text{ini}} = E z^2 / (1 / k_{\text{eff}}^{\text{top}} + 1 / k_{\text{eff}}^{\text{bottom}}) \ll \infty$$

$S_{j, \text{ini}} \ll \infty \rightarrow$ sztywny, podatny lub przegubowy

Takie połączenie można bez dodatkowych obliczeń traktować jako przegub, ale nie jest zalecane w konstrukcjach metalowych (za wyjątkiem słupów elektroenergetycznych).



Styk uniwersalny,
kategoria A.

Rys: Autor



Rys: inzynierbudownictwa.pl

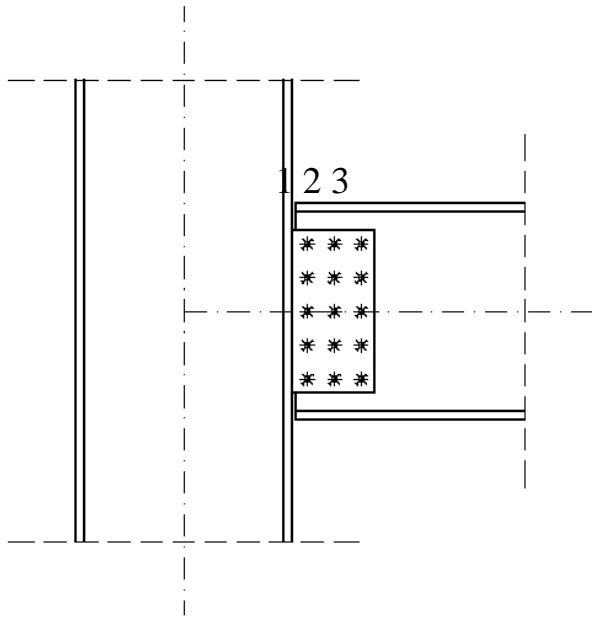


Rys: galeria.budownictwopolskie.pl



Rys: mlectric.eu

Połączenie śrubowe kategorii A



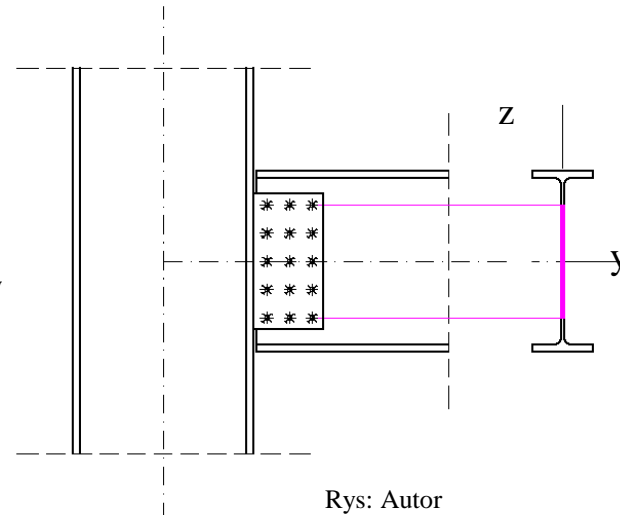
Rys: Autor

Brak tutaj unieruchomienia pólki, więc nie ma jasności, jak zbudować model sprężynkowy.

Przybliżenie: skrajny górny i dolny szereg śrub można potraktować jako unieruchomienie, odpowiednio, górnej i dolnej półki.

Dodatkowo, k_i powinny być przemnożone przez parametr poprawkowy θ :

$$\theta = J_y / J_{I, y}$$

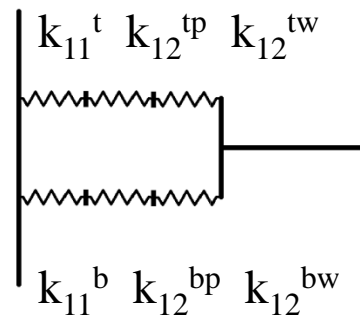


Rys: Autor

Rys: Autor

Połączenie przegubowe, brak momentu zginającego, brak lokalnego ściskania, rozciągania i ścinania środka – brak k_1 , k_2 i k_3 .

Przykładka - k_9 , ale wartość k_9 dąży do nieskończoności i może zostać pominięta. Tylko k_{11} i k_{12} muszą być wzięte pod uwagę.



Dla każdej śruby po 9 współczynniki; ostatecznie 9 sprężynek na górze i 9 na dole.

Rys: Autor

Styk uniwersalny, kategoria A.

$$k_{11}^{i, a} \ll \infty \quad (\#t / 41)$$

$$k_{12}^{i, a} \ll \infty \quad (\#t / 41)$$

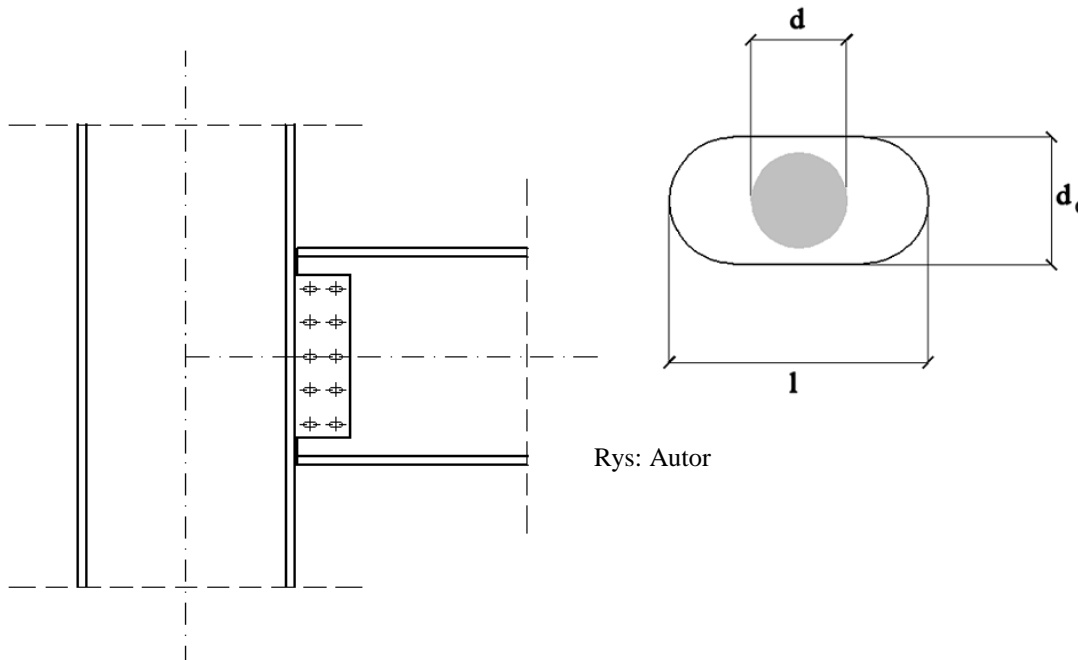
$$S_{j, ini} = E z^2 / [\Sigma (1 / k_i)] \ll \infty$$

$S_{j, ini} \ll \infty \rightarrow$ sztywny, podatny lub przegubowy

→ #14 / 42

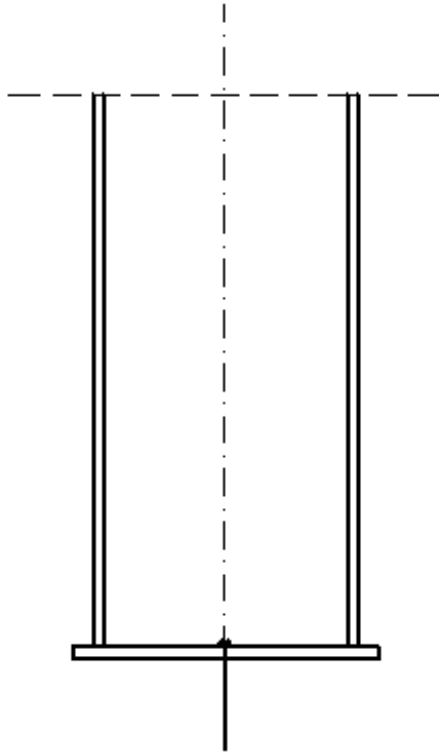
Zgodnie z wynikami eksperymentów możemy założyć, że prawie idealnym przegubem jest węzeł śrubowy:

- Śruby wyłącznie na środku;
- Otwory owalne na śruby.



Rys: tekla-detailed-structural-fabrication.com

Rys: Autor



$k_{13} ; k_{15} ; k_{16}$

$$k_{13} \ll \infty \quad (\#t / 42)$$

$$k_{15} \ll \infty \quad (\#t / 43)$$

$$k_{16} \ll \infty \quad (\#t / 43)$$

$$z = 0$$

$$e = 0$$

$$S_{j, ini} = \{E z^2 / [\Sigma (1 / k_i)]\} [e / (e + e_k)] \rightarrow$$

$$\rightarrow \{E 0^2 / [(1 / k_{13}) + (1 / k_{15}) + (1 / k_{16})]\} [0 / (0 + e_k)] \rightarrow$$

$$\rightarrow \{E 0^2 / [(1 / k_{13}) + (1 / k_{15}) + (1 / k_{16})]\} [0 / (0 + e_k)] = 0$$

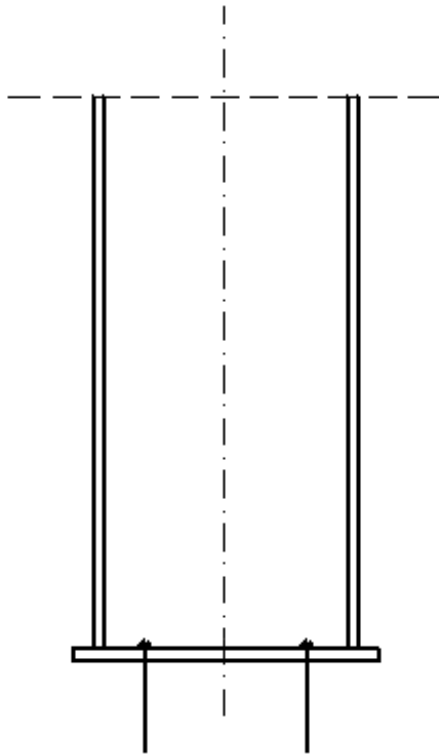
Stopa słupa obciążonego osiowo,
jeden rząd kotwi.

$S_{j, ini} = 0 \rightarrow$ połączenie przegubowe



Rys: j-p.com.ua

Rys: Autor



$k_{13} ; k_{15} ; k_{16}$

$$k_{13} \ll \infty \quad (\#t / 42)$$

$$k_{15} \ll \infty \quad (\#t / 43)$$

$$k_{16} \ll \infty \quad (\#t / 43)$$

$$z \neq 0$$

$$e \neq 0$$

$$S_{j, ini} = \{E z^2 / [\Sigma (1 / k_i)]\} [e / (e + e_k)] =$$

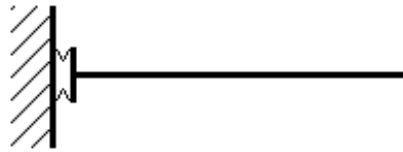
$$= \{E z^2 / [(1 / k_{13}) + (1 / k_{15}) + (1 / k_{16})]\} [e / (e + e_k)] \neq 0$$

Stopa słupa obciążonego osiowo,
kilka rzędów kotwi.

$S_{j, ini} \rightarrow$ sztywny, podatny lub przegubowy


Węzły podatne

Co robić w takiej sytuacji?

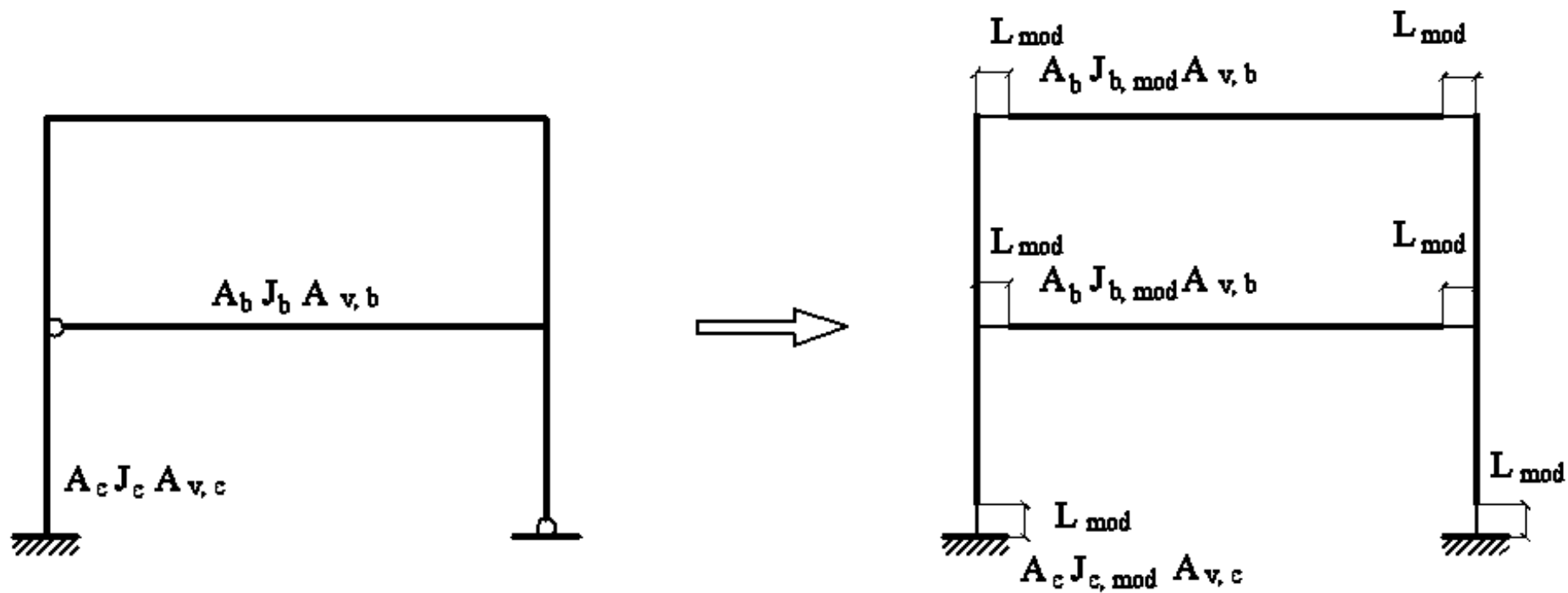


Rys: Autor

Wynika sprawdzania:

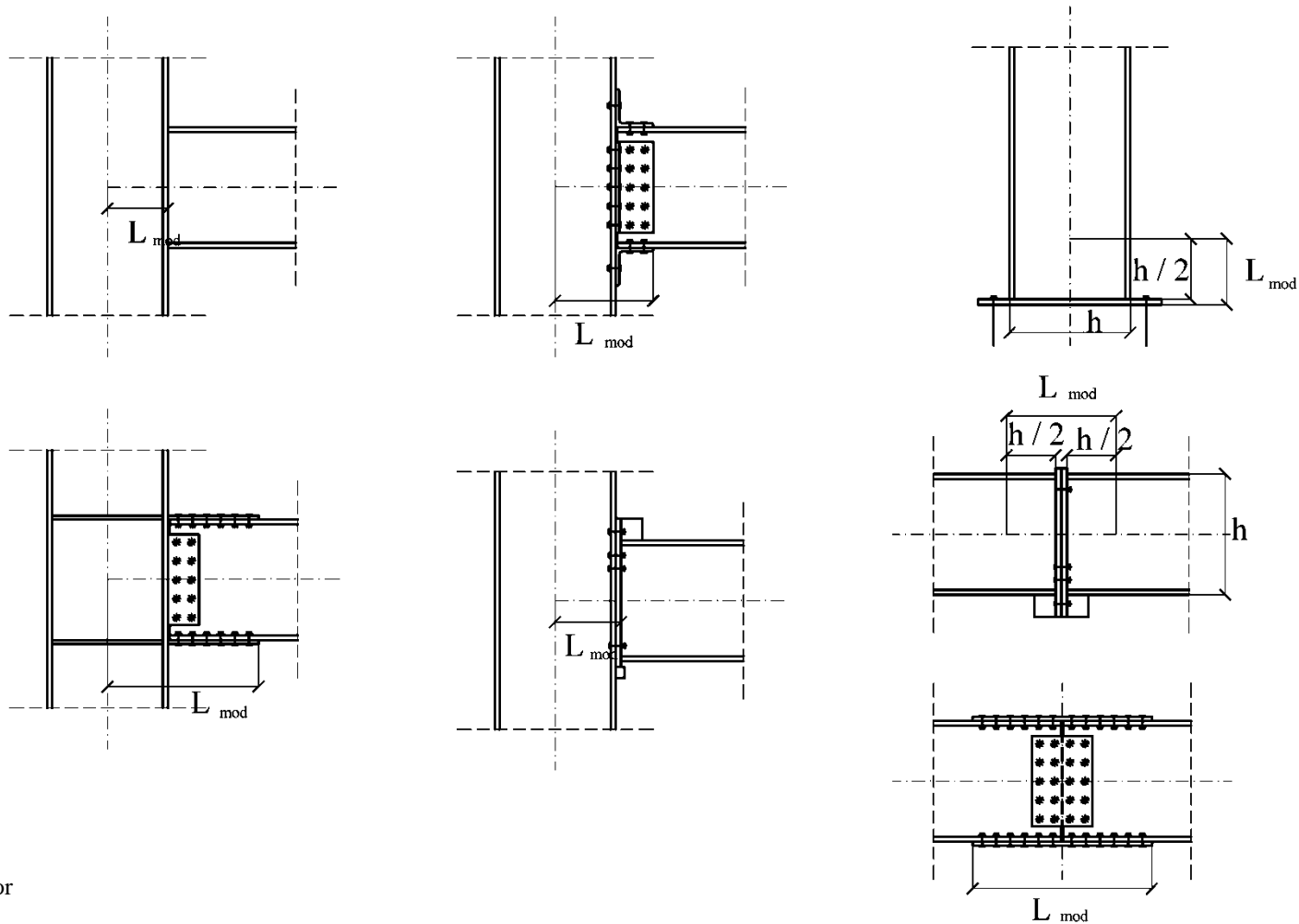
Założenie wstępne	Wynik sprawdzania	Co to znaczy dla dalszych obliczeń?
Przegubowy	Przegubowy	
	Podatny	
Sztywny	Sztywny	

Węzły podatne – zmiana schematu statycznego



Rys: Autor

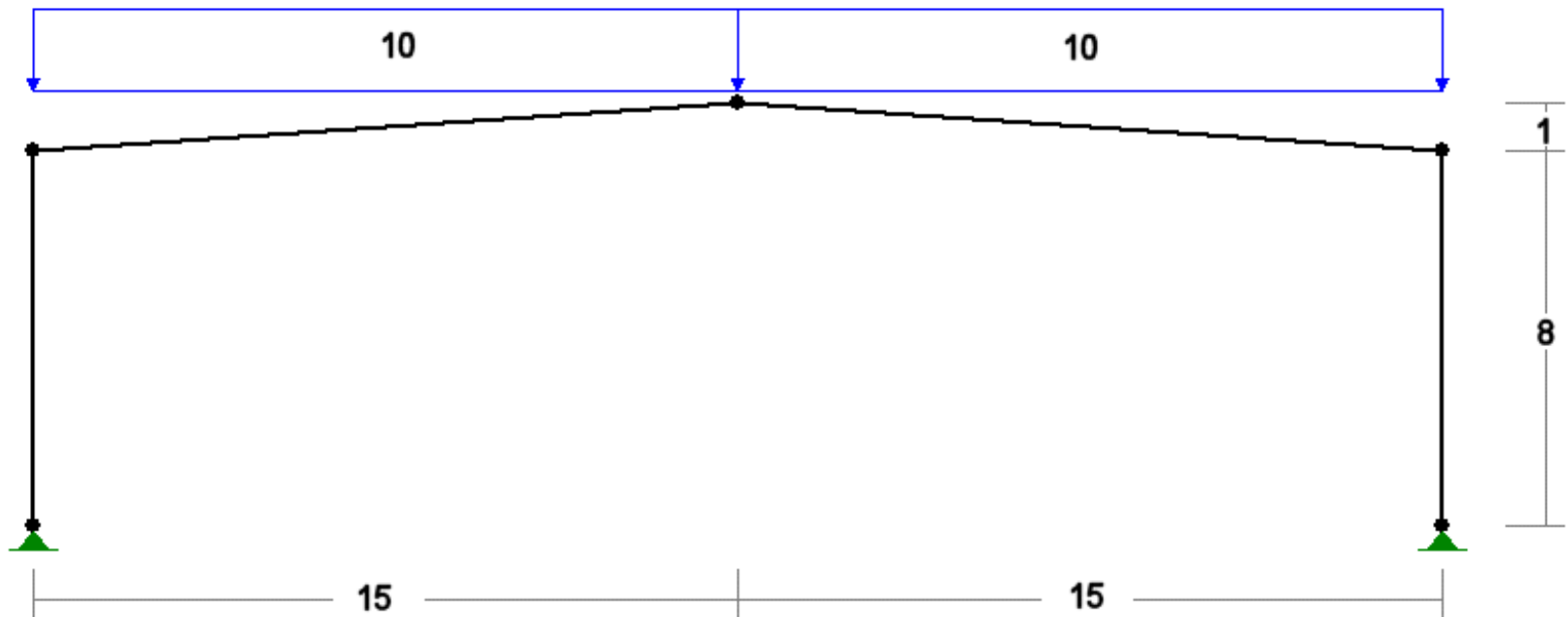
$$J_{\text{mod}} = \min (J ; S_{j, \text{ini}} L_{\text{mod}} / E)$$



Rys: Autor

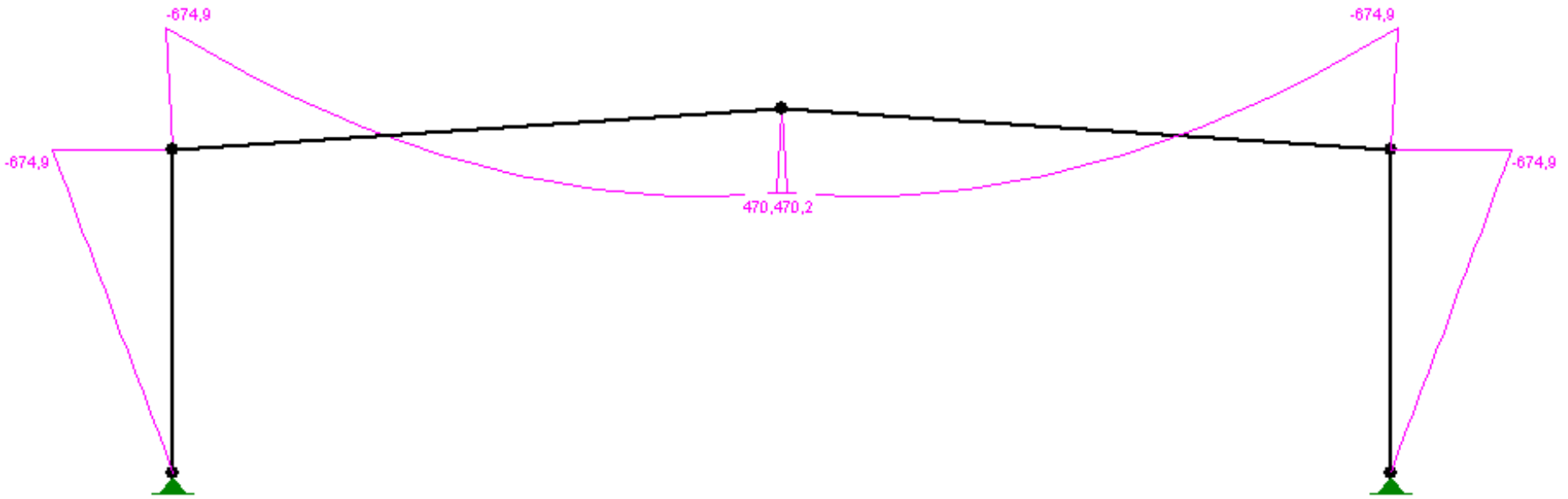
Przykład zmian
Węzły sztywne rygiel-słup

$$J_c = J_b$$



Rys: Autor

M [kN]



Rys: Autor

Węzły podatne (granice):

$$0,5 E J_b / L_b < S_{j, ini} < 25 E J_b / L_b$$

Analiza 5 przypadków – co się stanie, jeśli przegub $(0,5) < S_{j, ini} < (25)$ węzeł sztywny

$$S_{j, ini, 1} = 5 E J_b / L_b$$

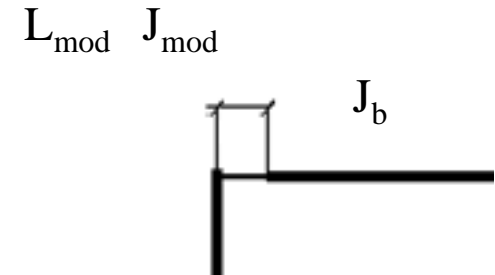
$$S_{j, ini, 2} = 10 E J_b / L_b$$

$$S_{j, ini, 3} = 15 E J_b / L_b$$

$$S_{j, ini, 4} = 20 E J_b / L_b$$

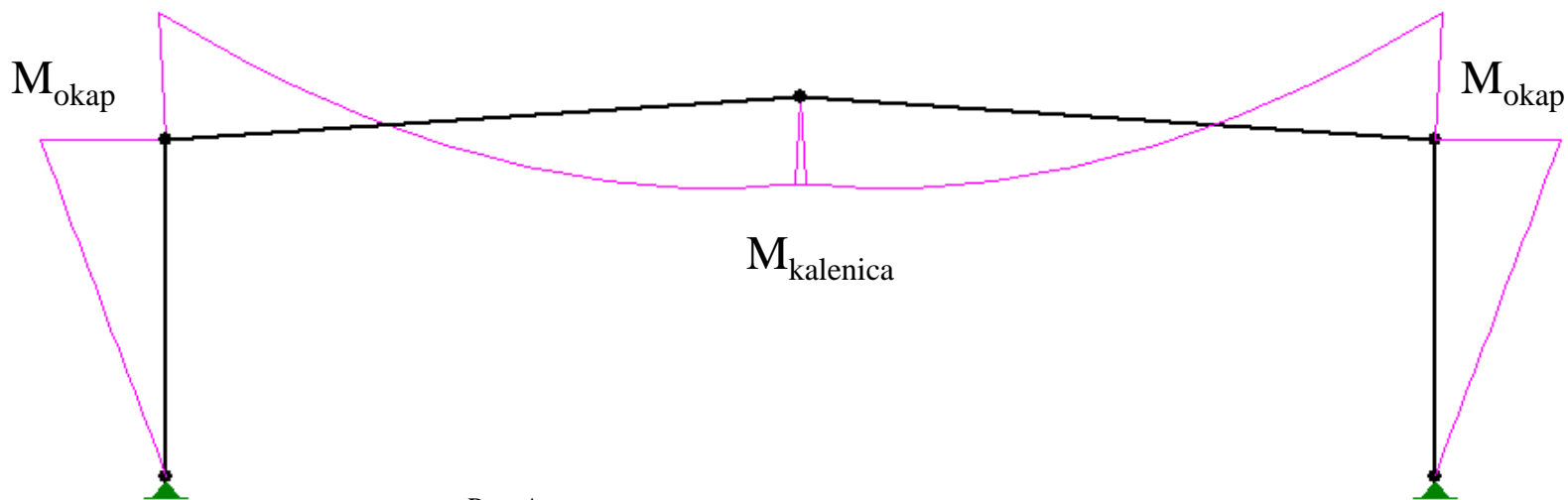
$$L_{mod} = 0,4 \text{ m}$$

$$J_{mod} = S_{j, ini} L_{mod} / E$$



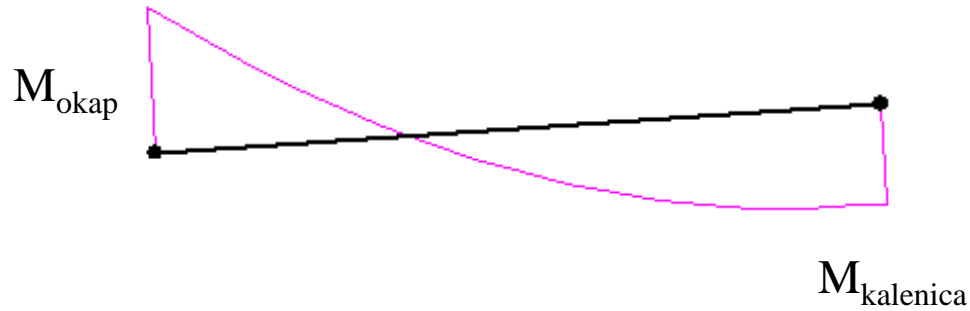
Rys: Autor

Sztywność	M_{okap} [kN]	$M_{kalenica}$ [kN]	M_{eaves} [%]	M_{ridge} [%]
$S_{j, ini, 1}$	574,9	581,2	-14,8	+23,6
$S_{j, ini, 2}$	626,2	524,7	-7,2	+11,6
$S_{j, ini, 3}$	645,6	503,1	-4,3	+7,0
$S_{j, ini, 4}$	655,7	491,7	-2,8	+4,6
Sztywny	674,9	470,2	+/- 0,0	+/- 0,0
Przegub (teoretycznie)	0,0	1225,0	-100%	+160,5



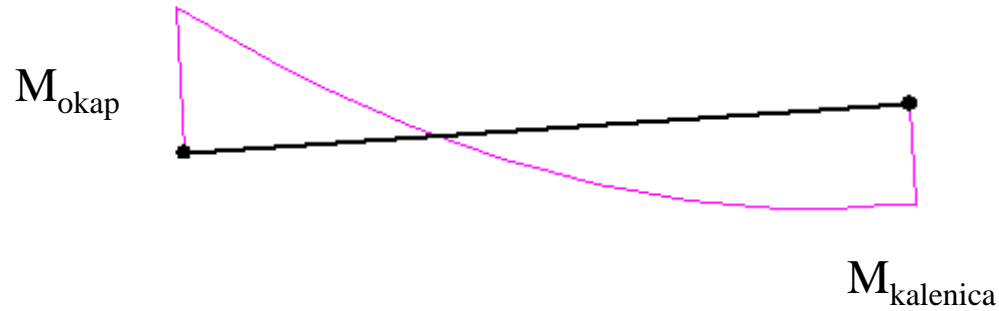
Rys: Autor

Rys: Autor



Sztywność	M_{okap} [kN]	$M_{kalenica}$ [kN]	$M_{okap} / M_{kalenica}$	Uwagi
$S_{j, ini, 1}$	574,9	581,2	0,99	Jednolite wyężenie w obu punktach
$S_{j, ini, 2}$	626,2	524,7	1,19	
$S_{j, ini, 3}$	645,6	503,1	1,20	
$S_{j, ini, 4}$	655,7	491,7	1,34	
Sztywne	674,9	470,2	1,44	Różne wyężenie w obu punktach

Rys: Autor



Sztywność	M_{okap} [kN]	M_{kalenica} [kN]	I	okap	kalenica	ciężar własny [kg / m]
$S_{j, \text{ini}, 1}$	574,9	581,2	IPE 550 A	0,99	1,00	93,8
Sztywny	674,9	470,2	IPE 600 A	0,91	0,64	109,6

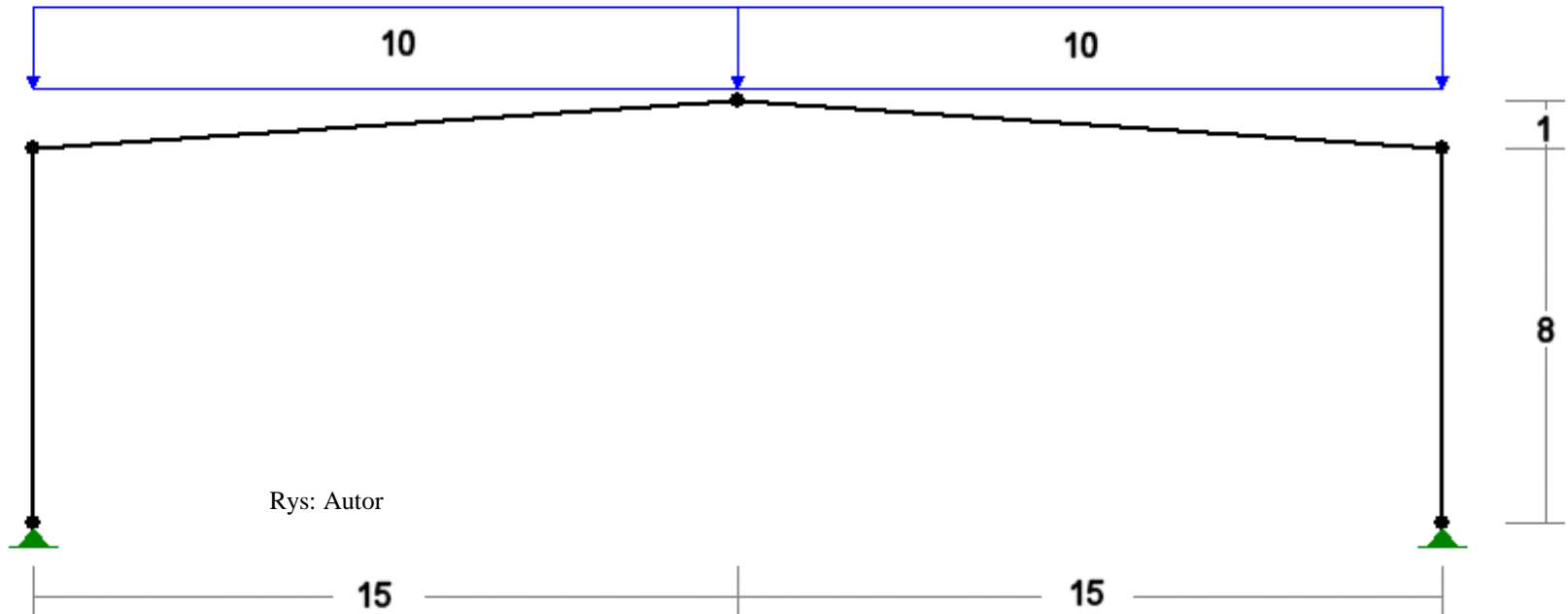
Jest możliwe, że dla węzłów podatnych otrzymamy lżejszą (tańszą) konstrukcję.

Przykład ramy z różnymi sztywnościami słupa i rygla

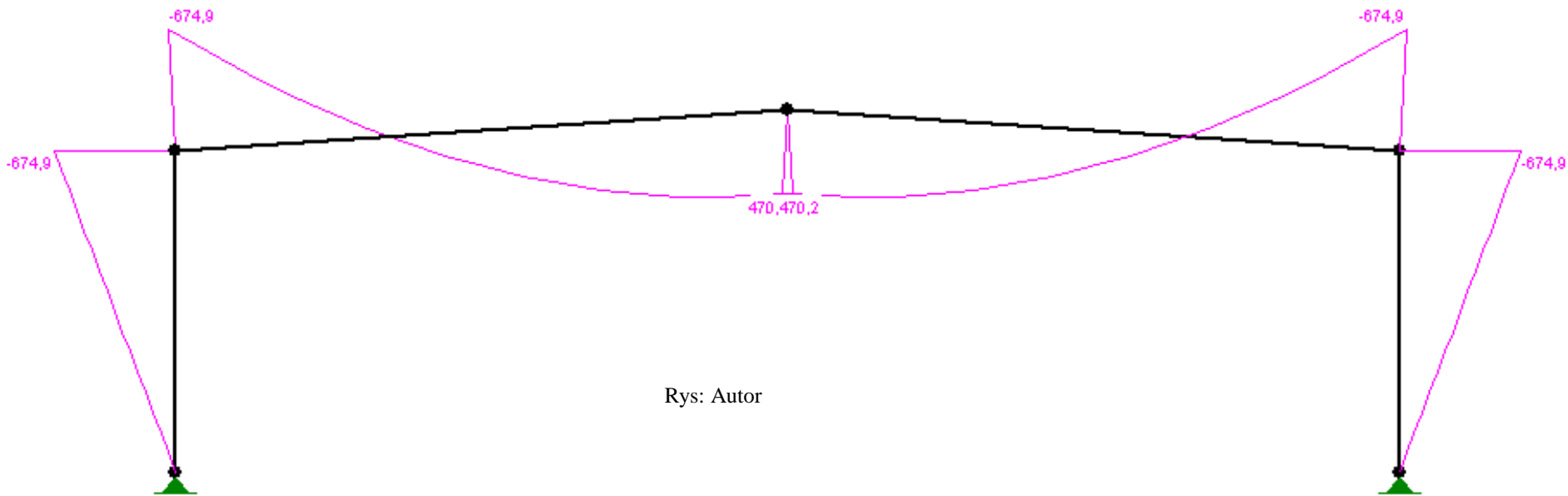
Połączenie sztywne rygla ze słupem

A) $2 J_c = J_b$

B) $J_c = 2 J_b$



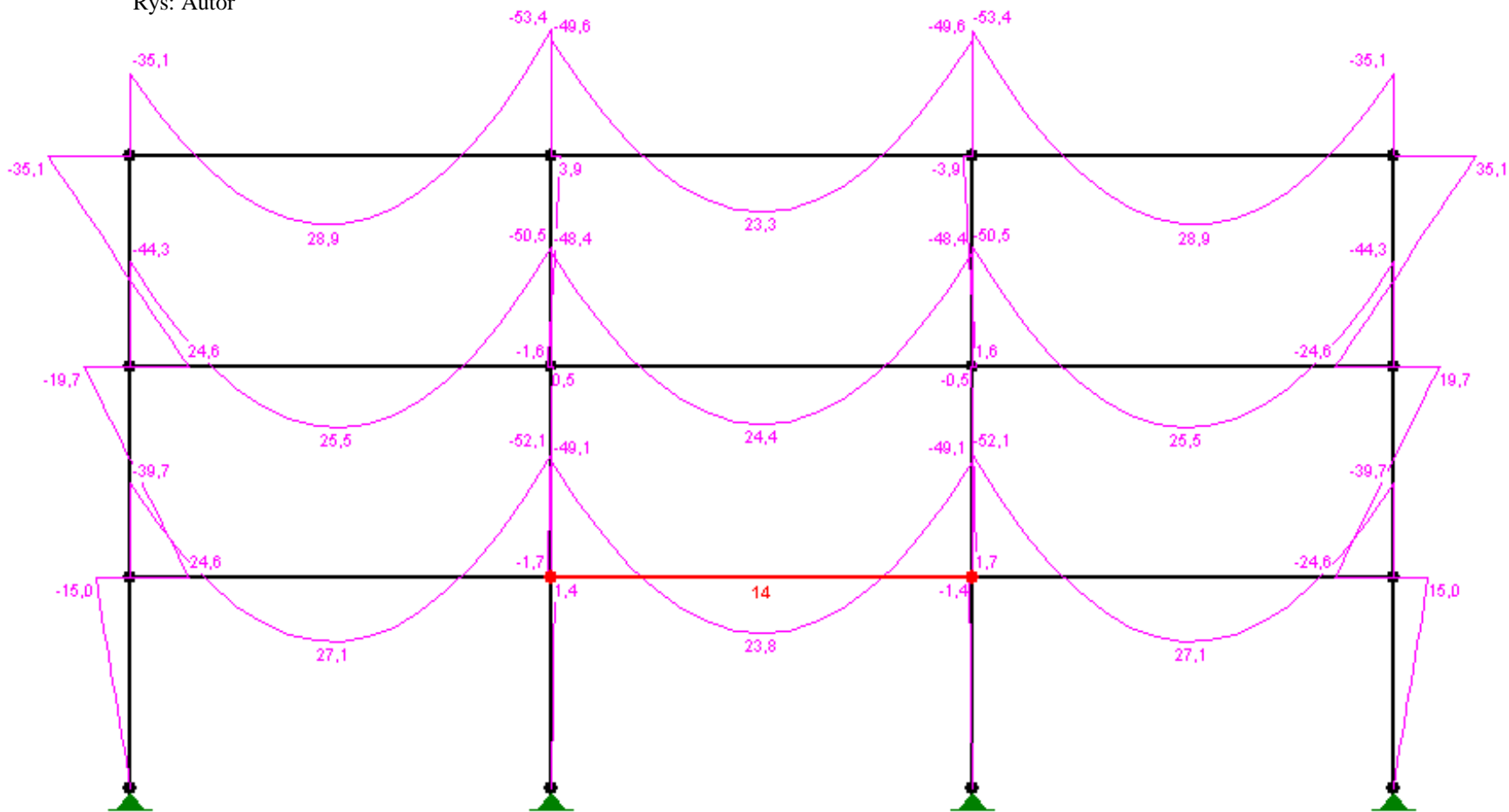
Węzeł	M_{okap} [kN]	M_{kalenica} [kN]
Podatny, $S_{j, \text{ini}, 1}$	574,9	581,2
Sztywny, $J_c = J_b$	674,9	470,2
Sztywny A ($2 J_c = J_b$)	594,2	559,5
Sztywny B ($J_c = 2 J_b$)	724,0	415,1



Rys: Autor

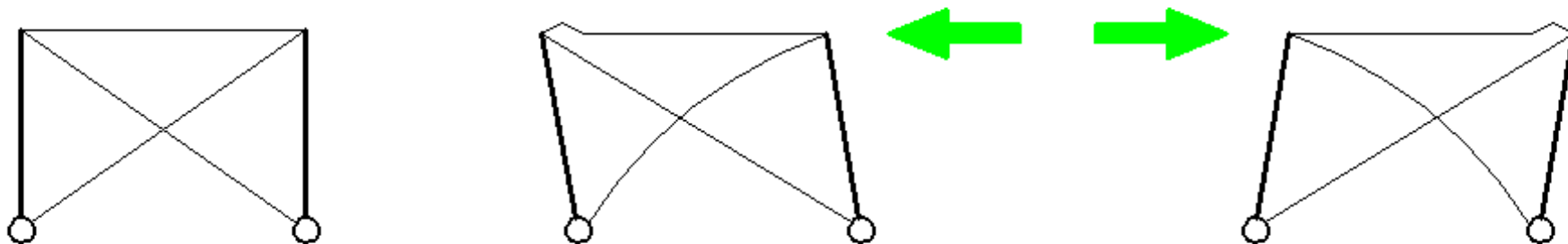
Rama parterowa jednoprzęsłowa: maksymalny moment zginający dla słupa i rygla jest taki sam; sensowne jest dawanie identycznego przekroju słupa i rygla. Nie ma ekonomicznego sensu korygowania obwiedni momentów przez zróżnicowanie sztywności elementów.

Rys: Autor



Rama wieloprzęsłowa wielokondygnacyjna – tutaj różne elementy są obciążone w różny sposób, można próbować wpływać sztywnością elementów na rozkład momentów.

Pomysł, by celowo projektować węzły podatne dla zmiany rozkładu sił przekrojowych w konstrukcji, nie zdaje egzaminu. W czasie eksploatacji konstrukcji jest ona narażona na obciążenia działające z różnych kierunków. W efekcie sumujące się luzy i deformacje sukcesywnie zmniejszają sztywność węzłów.



Rys: Autor

$S_{j, ini}$ zmienia swą wartość w trakcie eksploatacji, zwłaszcza w przypadku węzłów podatnych. Dlatego nie warto tą drogą korygować obwiedni momentów, gdyż stopień korekty będzie się z czasem zmieniał w sposób trudny do przewidzenia.

Lepszą metodą jest zmiana sztywności elementów.



Rys: steltech.co.nz

Dla najlepszego dopasowania nośności i obwiedni momentów zginających używa się elementów o zmiennych przekrojach.



Rys: quora.com

Zagadnienia egzaminacyjne

Części węzła ważne dla ustalenia sztywności

Sprężyna efektywna i zastępcza w modelu sprężynkowym

Dziękuję za uwagę

© 2025 dr inż. Tomasz Michałowski

tmichal@usk.pk.edu.pl