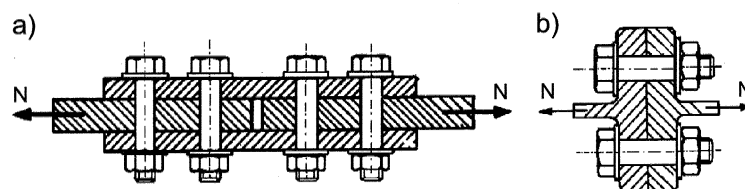


Połączenia na nity i śruby

Praca nitów i śrub w połączeniach w zasadzie jest identyczna, stąd obliczanie i kształtowanie tych połączeń przeprowadza się według tych samych zasad. Współczesne konstrukcje stalowe praktycznie nie są już łączone za pomocą nitów dlatego dokładniej omawiane będą połączenia śrubowe.

W normie PN-90/B-03200 te połączenia zostały podzielone na 6 kategorii, oznaczonych od A do F. Podział ten uzależniono od kierunku działania obciążenia w stosunku do osi łączników, rodzaju połączenia oraz warunków nośności. Wyróżniono dwie podstawowe grupy połączeń:

- zakładkowe (przykładkowe lub nakładkowe), w których kierunek działania sił jest prostopadły do osi łączników, obejmujące połączenia kategorii A, B i C
- doczołowe, w których kierunek działania sił jest równoległy do osi łączników, obejmujące połączenia kategorii D, E i F.



Rys. 5.1 Rodzaje połączeń a) nakładkowe b) doczołowe [11]

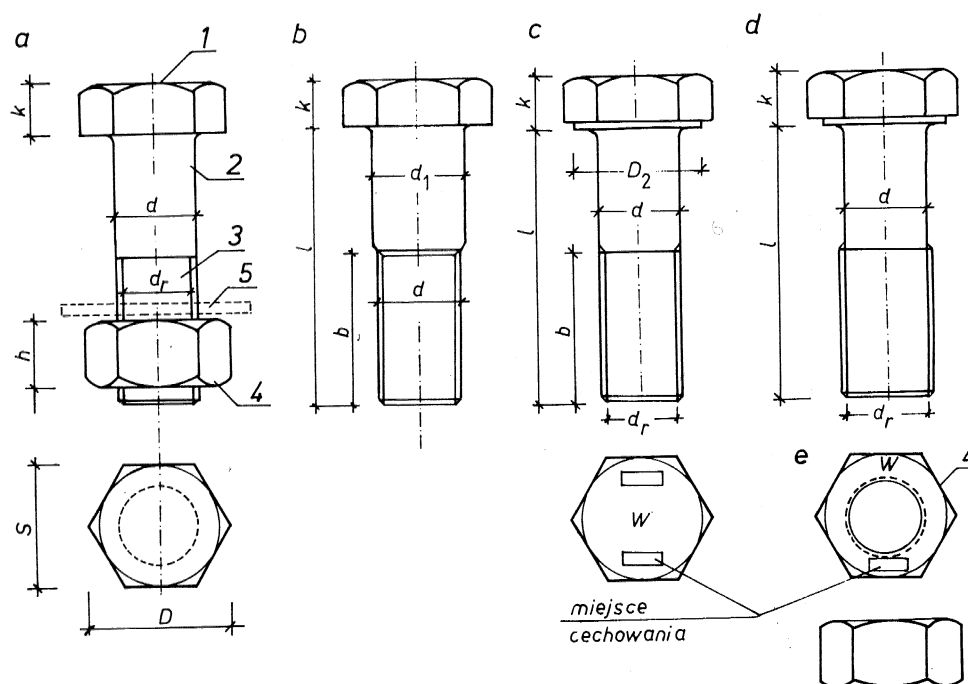
Tablica 13 PN-90/B-03200

Kategoria połączenia	A		B		C	D		E		F	
Kierunek obciążenia	Prostopadły do osi łączników					Równoległy do osi łączników					
Rodzaj połączenia	zakładkowe					doczołowe					
	śrubowe: ²⁾ — zwykłe, — pasowane, nitowe, sworzniowe		sprężane ¹⁾ (cierne)			niesprężane ³⁾ lub sprężane ¹⁾			sprężane ¹⁾		
Stany graniczne:	I		I	II	I	I		I	II	I	
I-nośności	ścięcie lub docisk łączników					poślizg styku		zerwanie śrub		rozwarcie styku	
II-użytkowania											
<p>¹⁾ Do połączeń sprężanych należy stosować śruby o wysokiej wytrzymałości, tzn. klasy: 8.8, 10.9 lub 12.9. Połączenia te powinny być sprężone siłą $S_0 = 0,7R_m A_s$.</p> <p>W dokumentacji projektowej należy określić warunki techniczne wykonania i odbioru połączeń sprężanych. W szczególności należy podać na rysunkach montażowych sposób realizacji wstępnego sprężenia (np. wartości momentów dokręcających), a w przypadku połączeń ciernych również sposób przygotowania powierzchni odpowiedni do zakładanego współczynnika tarcia.</p> <p>²⁾ Połączenia na śruby o wysokiej wytrzymałości można projektować jako sprężane siłą równą $0,5S_0 = 0,35R_m A_s$.</p> <p>³⁾ Do połączeń niesprężanych stosuje się śruby klas niższych niż 8.8.</p>											

Asortyment śrub

W budownictwie stosuje się wiele różnych rodzajów śrub. Biorąc pod uwagę kształt, dokładność wykonania i przeznaczenie rozróżnia się:

- śruby zgrubne (surowe, zwykłe), oznaczone symbolem C, wykonane z łbem sześciokątnym lub kwadratowym, z trzpieniem cylindrycznym gładkim, gwintowanym na części lub na całości;
- śruby klasy średnio dokładnej, oznaczone symbolem B lub klasy dokładnej oznaczonej symbolem A, o kształcie jak śruby zgrubne lecz większej dokładności wykonania poprzez dodatkowe obrobienie trzpienia za pomocą toczenia;
- śruby pasowane, o odmiennym kształcie trzpienia, charakteryzującym się mniejszą średnicą na odcinku gwintowanym niż na odcinku gładkim, mocowane w otworach z małym luzem (0.1 do 0.2 mm) poprzez pobijanie młotkiem (rzadko jeszcze stosowane w budownictwie obecnie)
- śruby do połączeń sprężonych, wykonane w klasie średniodokładnej ze stali o wysokiej wytrzymałości, w tradycyjnym kształcie, stosowane w połączeniach ciernych i doczołowych sprężonych



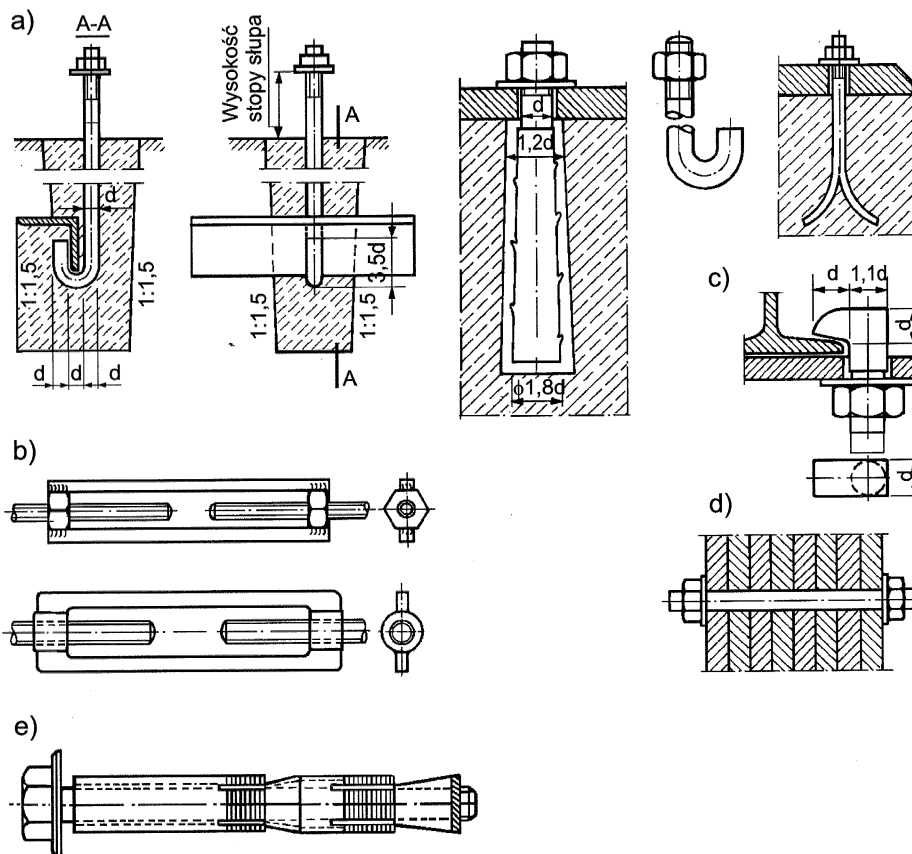
Rys. 5.2 Śruby z łbem sześciokątnym [2]

a) śruby zwykłe klas A,B,C b) śruby pasowane
c) i d) śruby do połączeń sprężanych

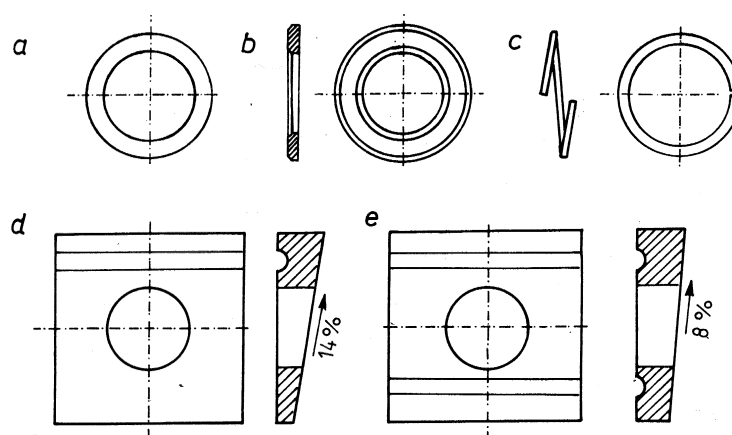
1-łeb śruby, 2- trzpień, 3-gwint, 4-nakrętka, 5-podkładka

W budownictwie używa się również różnych rodzajów śrub o specjalnym przeznaczeniu:

- a) śruby fundamentowe,
- b) śruby rzymskie,
- c) śruby hakowe i młotkowe,
- d) śruby dwustronne (pręty okrągłe nagwintowane),
- e) śruby rozporowe (kołki).

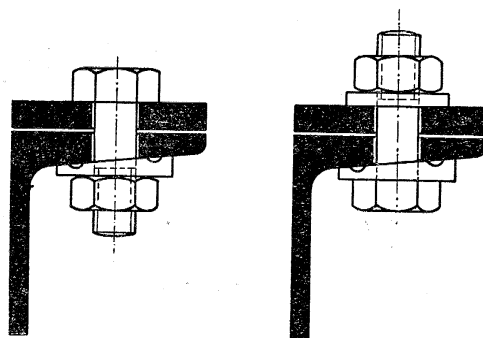


Rys. 5.3 Śruby specjalne [11]



Rys. 5.4 Podkładki pod śruby [2]

- a) zwykłe b) do połączeń sprężanych c) sprężyste
- d) e) klinowe



Rys. 5.5 Zastosowanie podkładek klinowych [3]

Śruby podzielono również na klasy w zależności od właściwości mechanicznych stali, z których są wykonane. W zależności od wymaganej wytrzymałości na rozciąganie i od wymaganej granicy plastyczności w stalowych konstrukcjach budowlanych stosuje się 10 klas śrub. Klasy oznacza się symbolem składającym się z dwóch liczb przedzielonych kropką. Pierwsza liczba stanowi 0,01 minimalnej wymaganej wytrzymałości doraźnej na rozciąganie stali gotowych śrub w MPa. Druga liczba stanowi 0,1 stosunku minimalnej granicy plastyczności do minimalnej wytrzymałości doraźnej na rozciąganie śrub. Przykładowo klasa 4.6 oznacza śrubę o charakterystyce

$$R_m = 400 \text{ MPa} \quad \frac{R_e}{R_m} = 0.6$$

Zestawienie parametrów śrub różnych klas podano w tablicy Z2-2 wg PN-90/B-03200:

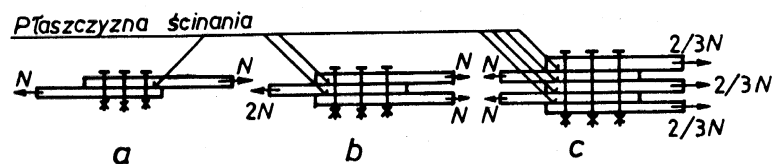
Klasy właściwości mechanicznych śrub (nakrętek) ¹⁾										
Symbol klasy	3,6(4)	4,6(4)	4,8(4)	5,6(4)	5,8(5)	6,6(5)	6,8(8)	8,8(8)	10,9(10)	12,9(12)
R_m , MPa	330	400	420	500	520	600	600	800 ²⁾	1040	1220
R_e , MPa	190	240	340	300	420	360	480	640 ²⁾	940	1100
Śruba (A_s , mm ²)	Nośność obliczeniowa śrub na rozciąganie S_R (na ścinanie S_R) ³⁾ , kN									
<u>M10</u> $A_s = 58,0$	9,4 (11,7)	11,8 (14,1)	15,9 (14,8)	14,8 (17,7)	19,6 (18,4)	17,7 (21,2)	22,7 (21,2)	30,2 (28,3)	39,2 (36,7)	46,1 (43,1)
<u>M12</u> $A_s = 84,3$	13,6 (16,8)	17,2 (20,3)	23,0 (21,4)	21,5 (25,4)	28,5 (26,4)	25,8 (30,5)	32,9 (30,5)	43,8 (40,7)	57,0 (52,9)	67,0 (62,0)
<u>M16</u> $A_s = 157$	25,3 (29,9)	32,0 (36,2)	42,8 (38,0)	40,0 (45,2)	53,0 (47,0)	48,1 (54,3)	61,1 (54,3)	81,3 (72,4)	106 (94,1)	125 (110)
<u>M20</u> $A_s = 245$	39,6 (46,7)	50,0 (56,5)	67,0 (59,3)	62,5 (70,7)	82,6 (73,5)	75,0 (84,8)	95,6 (84,8)	132 (117)	166 (150)	196 (172)
<u>M24</u> $A_s = 353$	57,0 (67,2)	72,1 (81,4)	96,2 (85,4)	90,0 (102)	120 (106)	108 (122)	138 (122)	190 (169)	239 (212)	280 (248)
<u>M30</u> $A_s = 561$	90,6 (105)	114 (127)	153 (134)	143 (159)	190 (165)	172 (191)	219 (191)	303 (265)	379 (331)	445 (388)

¹⁾ Do połączeń zwykłych zaleca się stosować śruby klasy 4.8 o średnicy $d \leq 20$ mm lub klasy 5.6 o średnicy $d > 20$ mm; stosowanie śrub klas 3.6; 4.6; 5.6 i 6.6 o średnicy $d \leq 20$ mm jest niewskazane, ze względu na konieczność dodatkowych zabiegów technologicznych przy ich produkcji.

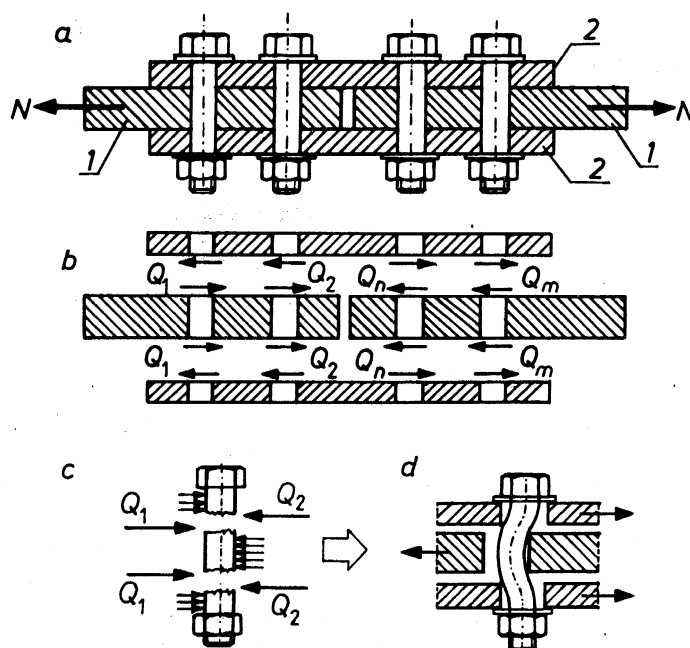
²⁾ Dla śrub $d > 16$ mm, $R_m = 830$ MPa, $R_e = 660$ MPa.

³⁾ Wartości S_R , podane w nawiasach, dotyczą ścinania w jednej płaszczyźnie, na odcinku niegwintowanym.

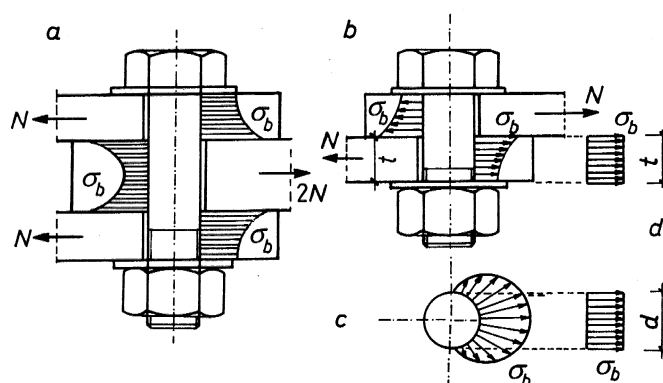
Nośność graniczna połączeń zakładkowych



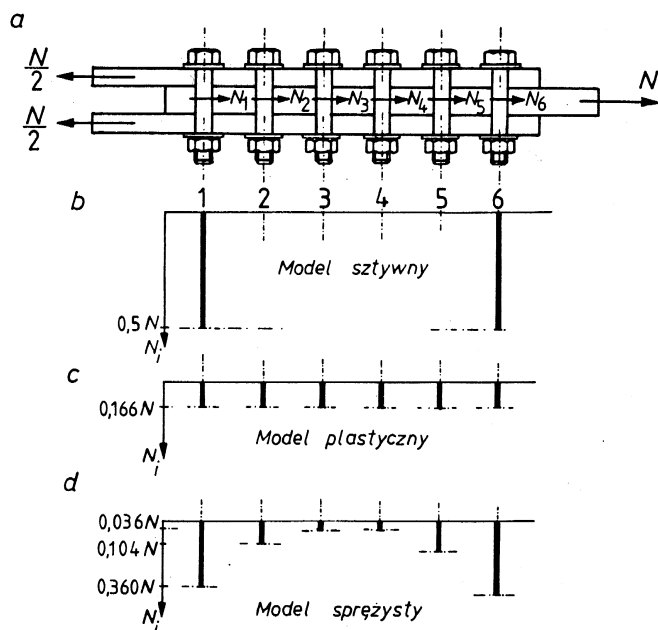
Rys. 5.6 Połączenia zakładkowe [2]
a) jednocięte b) dwucięte c) wielocięte



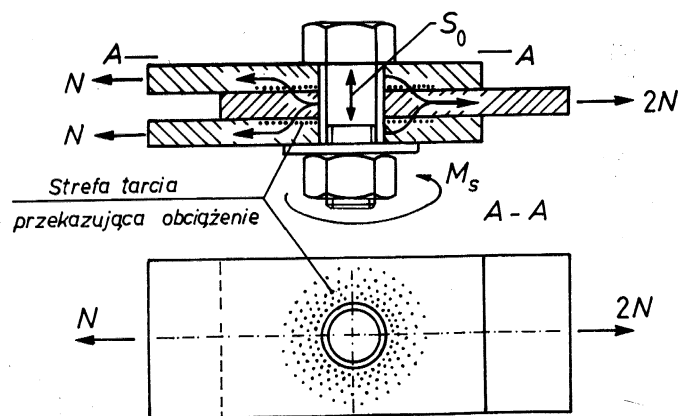
Rys. 5.7 Wyężenie śrub w połączeniu niesprężanym [2]
1-blachy łączone, 2-nakładki



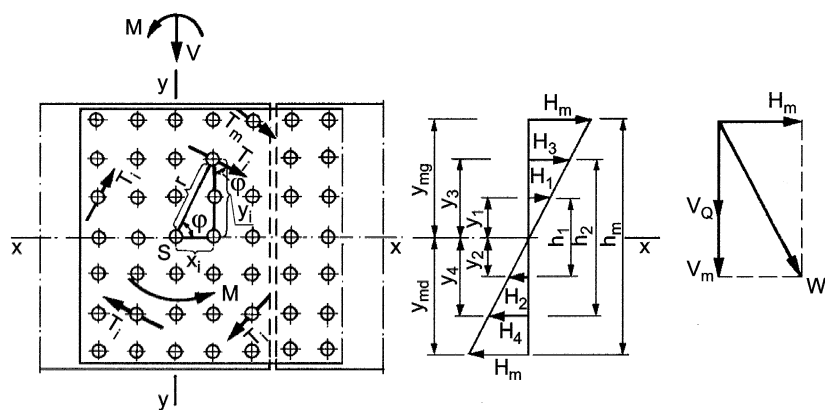
Rys. 5.8 Wyężenie dociskowe trzpienia śruby [2]



Rys. 5.9 Modele rozkładu obciążeń na śruby [2]



Rys. 5.10 Wyłączenie połączenia sprężonego [2]



Rys. 5.11 Rozkład sił w styku zginanym [11]

Dla styku obciążonego siłą poprzeczną V oraz momentem M (rys.5.11)

- składowa od siły poprzecznej $V_Q = \frac{V}{n}$ n -liczba śrub

- składowa od momentu zginającego (maksymalna)

$$T_m = M \cdot \frac{r_m}{\sum_i r_i^2} \quad \text{lub} \quad T_m = M \cdot \frac{\sqrt{x_m^2 + y_m^2}}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)}$$

gdzie

r_m odległość skrajnej śruby od środka ciężkości łączników S

r_i odległość i -tej śruby od środka ciężkości łączników S

x_m, y_m pozioma i pionowa odległość skrajnej śruby od środka ciężkości łączników S

x_i, y_i pozioma i pionowa odległość i -tej śruby od środka ciężkości łączników S

pozioma składowa od momentu (maksymalna)

$$H_m = T_m \cdot \sin \varphi = T_m \cdot \frac{y_m}{r_m} = T_m \cdot \frac{y_m}{\sqrt{x_m^2 + y_m^2}} = M \cdot \frac{y_m}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)}$$

pionowa składowa od momentu

$$V_m = T_m \cdot \cos \varphi = T_m \cdot \frac{x_m}{r_m} = T_m \cdot \frac{x_m}{\sqrt{x_m^2 + y_m^2}} = M \cdot \frac{x_m}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)}$$

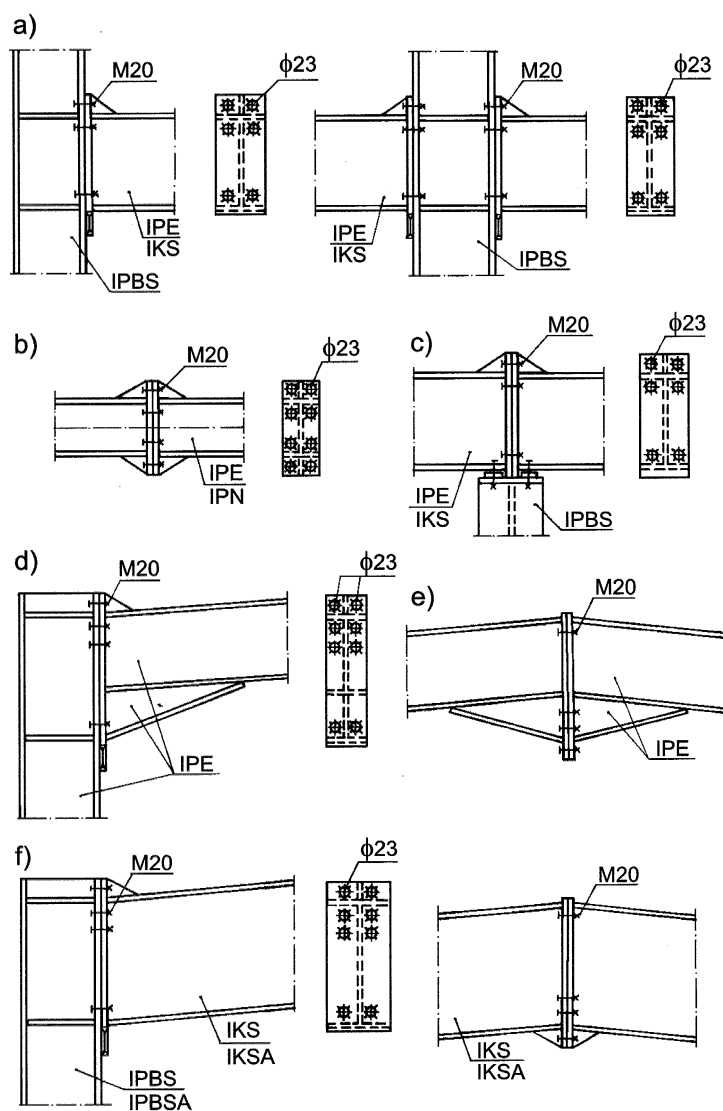
Wypadkowa siła w śrubie

$$W = \sqrt{H_m^2 + (V_m + V_Q)^2}$$

Inną postać wzoru podano w normie PN-90/B-03200. Równoważność będzie widoczna przy założeniu

$$T_m = S_i M \quad V_m + V_Q = S_i F$$

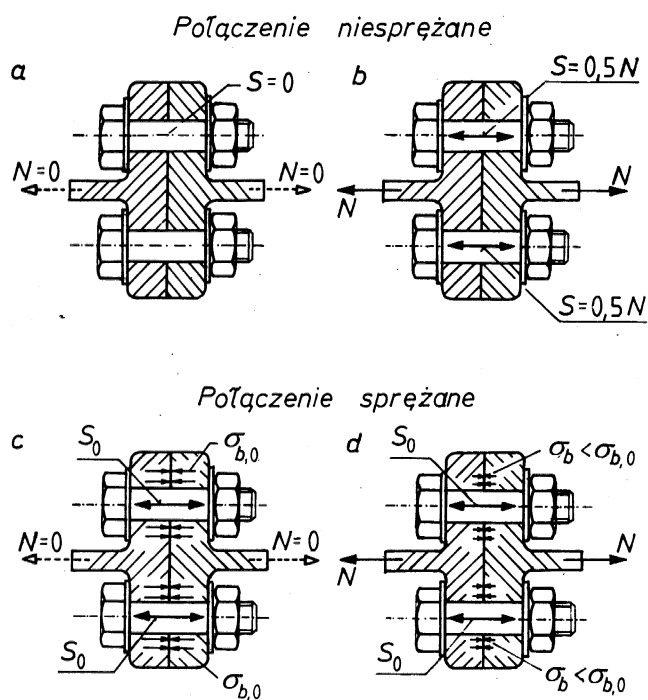
Nośność graniczna połączeń doczołowych



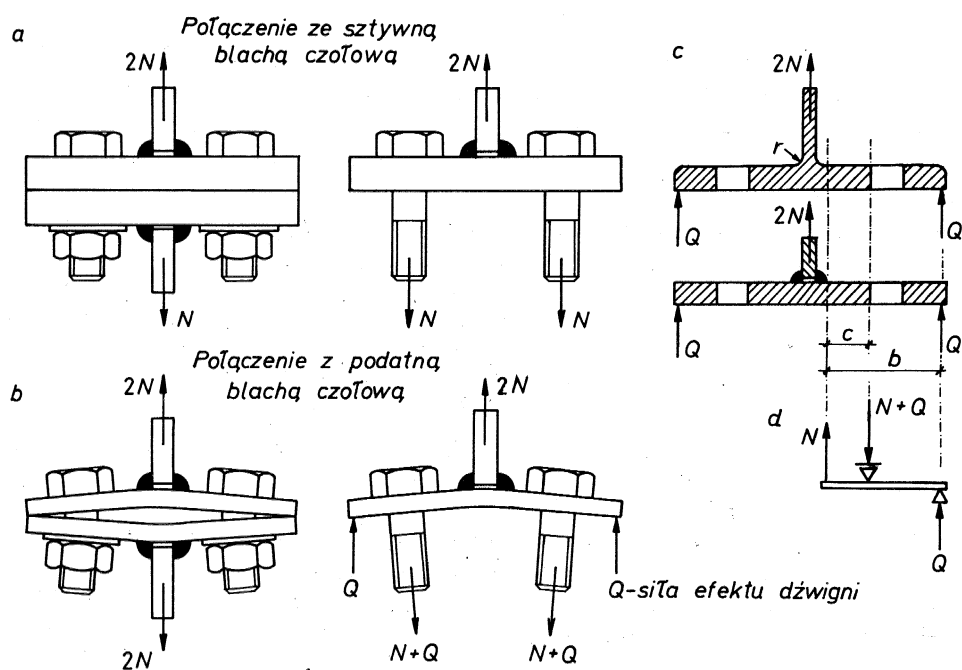
Rys. 5.12 Przykłady połączeń doczołowych [11]

- a) styki belki stropowej ze słupami
- b) styk rozciągany osiowo
- c) styk belki ciągłej nad podporą
- d) e) f) styki rygla hali

- Połączenia doczołowe proste (śruby równomiernie obciążone)
- Połączenia doczołowe złożone (nierównomierny rozkład obciążenia śrub)



Rys. 13 Wytężenie śrubowych połączeń doczołowych [2]



Rys. 5.14 Schemat powstawania efektu dźwigni [2]

Wybrane zagadnienia z PN-90/B-03200

Nośność obliczeniowa łączników

Śruby

- zerwanie trzpienia

$$S_{Rt} = \min(0.65 \cdot R_m \cdot A_s, 0.85 \cdot R_e \cdot A_s)$$

gdzie A_s - pole przekroju czynnego rdzenia śruby

R_m - wytrzymałość na rozciąganie stali śrub

R_e - granica plastyczności stali śrub

- rozwarcie styku sprężonego

$$S_{Rr} = 0.85 \cdot S_{Rt} \quad \text{przy obciążeniu statycznym}$$

$$S_{Rr} = 0.6 \cdot S_{Rt} \quad \text{przy obciążeniu dynamicznym}$$

- ścinanie trzpienia

$$S_{Rv} = 0.45 \cdot R_m \cdot A_v \cdot m$$

m - liczba płaszczyzn ścinania

$$A_v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{przy ścinaniu części niegwintowanej}$$

$$A_v = 0.8 \cdot A_s \quad \text{przy ścinaniu części gwintowanej dla śrub klasy 10.9}$$

$$A_v = A_s \quad \text{przy ścinaniu części gwintowanej dla śrub innych klasy}$$

- uplastycznienie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu

$$S_{Rb} = \alpha \cdot f_d \cdot d \cdot \sum t$$

$$\alpha = \frac{a_1}{d} \leq 2.5 \quad \alpha = \frac{a}{d} - \frac{3}{4} \leq 2.5$$

f_d	wytrzymałość obliczeniowa stali dla łączonych elementów
d	średnica śruby
a_1, a	rozstawy śrub
$\sum t$	sumaryczna grubość łączonych części podlegających dociskowi w tym samym kierunku

Przy docisku do części gwintowanej należy zamiast d przyjmować $0.7 d$

- poślizg styku sprężonego

$$S_{Rs} = \alpha_s \cdot \mu \cdot (S_{Rt} - S_t) \cdot m$$

$\alpha_s = 0.7$ przy otworach owalnych długich

$\alpha_s = 0.85$ przy otworach powiększonych lub owalnych krótkich

$\alpha_s = 1$ przy otworach okrągłych

μ współczynnik tarcia

S_t ewentualna siła rozciągająca śrubę

Rodzaj i sposób przygotowania powierzchni ¹		μ
Nie malowana ²	Powierzchnia bez specjalnego przygotowania, nie zaoliwiona	0,20
	Oczyszczenie ręczne szczotką drucianą, z usunięciem zendry i rdzy	0,30
	Opalenie płomieniem acetylenowo-tlenowym	0,40
	Śrutowanie lub piaskowanie	0,45
Malowana natryskowo (po śrutowaniu lub piaskowaniu)	Powłoka krzemianowo-cynkowa, alkaliczna o grubości od 60 do 80 μm	0,20
	Powłoka krzemianowo-cynkowa <i>Korsil</i> o grubości od 60 do 80 μm	0,45 ³
Metalizowana (po śrutowaniu lub piaskowaniu)	Cynkowanie ogniowe	0,10 (0,30) ⁴
	Natrysk cynku o grubości od 50 do 70 μm	0,25 (0,40) ⁴
	Natrysk aluminium o grubości $\geq 50 \mu m$	0,50
¹ W połączeniach, które wymagają specjalnych zabiegów wykonawczych, warunki techniczne ich wykonania i odbioru powinny być uzgodnione z wykonawcą. W uzasadnionych przypadkach zaleca się eksperymentalną weryfikację skuteczności metod wykonawczych na budowie. ² Wykonanie połączenia bezpośrednio po przygotowaniu powierzchni. ³ Malowane pędzlem $\mu = 0,40$. ⁴ Gdy obciążenie działa statycznie, można wtedy przyjmować wartości podane w nawiasach.		

- przy jednoczesnym obciążeniu śruby siłami rozciągającymi S_t i ścinającymi S_v

$$\left(\frac{S_t}{S_{Rt}}\right)^2 + \left(\frac{S_v}{S_{Rv}}\right)^2 \leq 1 \quad (74)$$

Nośność nitów

- ścinanie i docisk jak w przypadku śrub lub należy wyznaczać eksperymentalnie

- rozciąganie

$$S_{Rt} = 0.3 \cdot R_m \cdot A \quad (75)$$

- w przypadku złożonego obciążenia wg wzoru (74)

Nośność sworzni

- ścinanie

$$S_{Rv} = \min(0.4 \cdot R_m \cdot A, 0.6 \cdot R_e \cdot A) \cdot \alpha_v \cdot m \quad (76)$$

$$\alpha_v = \frac{0.5 \cdot d}{t_{\max}} \leq 1 \quad \text{gdzie} \quad d \quad \text{średnica sworznia}$$

t_{\max} największa grubość łączonych części

- docisk jak dla śrub lecz $\alpha \leq 1.4$

Wymiarowanie połączeń

Tablica 14 PN-90/B-03200

Średnica śruby, mm	$8 \leq d \leq 14$	$16 \leq d \leq 24$	$27 \leq d \leq 45$
Rodzaj otworu	Maksymalne średnice otworów d_0 , mm		
	$\Delta = 1 \text{ mm}$	$\Delta = 2 \text{ mm}$	$\Delta = 3 \text{ mm}$
Okrągły ¹⁾ (klasa średniokładna)	$d + \Delta$		
Okrągły powiększony	$d + 2\Delta$		
Owalny krótki	$(d + \Delta) \times (d + 4\Delta)$		
Owalny długi	$(d + \Delta) \times 2,5 (d + \Delta)$		
¹⁾ Dla otworów pasowanych przyjmuje się: $\Delta \leq 0,2 \text{ mm}$ dla $d \leq 22 \text{ mm}$, $\Delta \leq 0,3 \text{ mm}$ dla $d > 22 \text{ mm}$.			

Połączenia zakładkowe

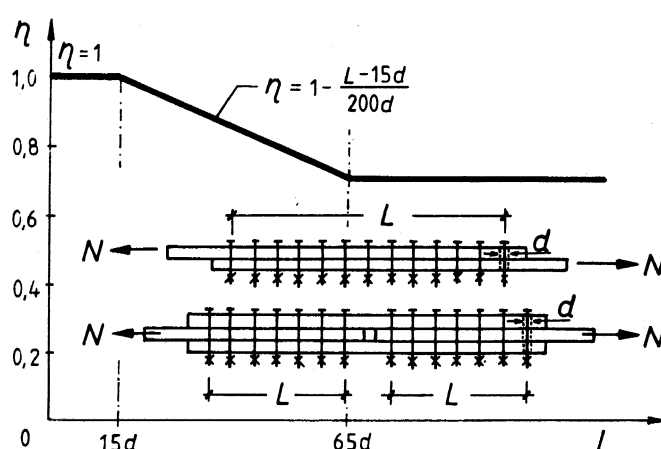
- przy obciążeniu osiowym

$$F \leq F_{Rj} = n \cdot \eta \cdot S_R \quad (77)$$

n liczba łączników

 S_R miarodajna nośność obliczeniowa łącznika η współczynnik redukcyjny

$$\eta = 1 - \frac{L - 15 \cdot d}{200 \cdot d} \quad (78) \quad 0.75 \leq \eta \leq 1$$



- przy obciążeniu siłą i momentem

$$S_i = \sqrt{\left(S_{i,M} + S_{i,F} \cdot \cos(\Theta_i)\right)^2 + \left(S_{i,F} \cdot \sin(\Theta_i)\right)^2} \leq S_R \quad (79)$$

 S_i wypadkowa siła przypadająca na i-ty łącznik Θ_i kąt między wektorami sił składowych

$$S_{i,F} = \frac{F}{n} \quad S_{i,M} = \frac{M \cdot r_i}{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad r_i \quad \text{ramię działania siły}$$

n liczba łączników

Połączenia doczołowe

Grubość blachy czołowej

- w połączeniach niesprężanych

$$t \geq t_{\min} = 1.2 \sqrt{\frac{c \cdot S_{Rt}}{b_s \cdot f_d}} \quad (82)$$

gdzie S_{Rt} nośność obliczeniowa śruby

f_d wytrzymałość obliczeniowa stali blachy

c odległość między brzegiem otworu a spoiną lub początkiem zaokrąglenia $c \leq d$

b_s szerokość wpółdziałania blachy przypadająca na jedną śrubę $b_s \leq 2 \cdot (c + d)$

- w połączeniach sprężanych

obciążonych statycznie

$$t \geq t_{\min} = d \cdot \sqrt[3]{\frac{R_m}{1000}} \quad (83)$$

obciążonych dynamicznie $t \geq 1.62 \cdot t_{\min}$ t_{\min} wg (82)

$t \geq 1.25 \cdot t_{\min}$ t_{\min} wg (83)

Nośność połączeń rozciąganych $N \leq N_{Rj}$ (85)

- dla połączeń prostych $N_{Rj} = \frac{1}{\beta} \cdot n \cdot S_R$ (86)

współczynnik efektu dźwigni $\beta = 2.67 - \frac{t}{t_{\min}} \geq 1$ (84)

- dla połączeń złożonych $N_{Rj} = S_r \cdot \sum_{i=1}^n \omega_i$ (87)

ω_i współczynnik rozdziału obciążenia

$$\omega_i \leq \frac{1}{\beta}$$

Nośność połączeń zginanych

$$M \leq M_{Rj} \quad (88)$$

M_{Rj} – nośność obliczeniowa połączenia na zginanie

- ze względu na zerwanie śrub

$$M_{Rj} = S_{Rt} \cdot \sum_{i=p}^{p+k-1} (m_i \cdot \omega_{ti} \cdot y_i) \quad (89)$$

- ze względu na rozwarście styku

$$M_{Rj} = S_{Rr} \cdot \sum_{i=p}^{p+k-1} \left(m_i \cdot \omega_{ri} \cdot \frac{y_i^2}{y_{\max}} \right) \quad (90)$$

- ze względu na rozwarście styku, gdy blacha czołowa jest usztywniona tylko wzdłuż jednej krawędzi

$$M_{Rj} = S_{Rt} \cdot \left[m_1 \cdot \omega_{r1} \cdot y_1 + \sum_{i=2}^k \left(m_i \cdot \omega_{ri} \cdot \frac{y_i^2}{y_2} \right) \right] \quad (91)$$

gdzie $p = 1$ – gdy występuje zewnętrzny szereg śrub lub $p = 2$

k – liczba szeregów śrub $k \leq 3$

S_{Rt}, S_{Rr} – nośność obliczeniowa śrub

m_i – liczba śrub w i-tym szeregu

ω_{ti}, ω_{ri} – współczynniki rozdziału obciążenia

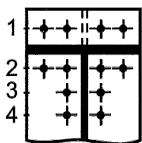
y_i – ramię działania sił w śrubach i-tego szeregu względem potencjalnej osi obrotu

$$y_i \geq 0.6 \cdot h_0$$

$y_{ired} = y_i - \frac{h}{6}$ – dla dwuteowników o wysokości większej niż 400 mm lub smukłości środka

$$\frac{h_w}{t_w} \geq 140 \cdot \sqrt{\frac{215}{f_d}}$$

Współczynniki rozdziału obciążenia

Średnica śrub		M20, M24		M20		M24		
Liczba śrub m_i w i -tym szeregu	m_1	2	—	4	—	4	—	
	m_2	2	2	4	4	4	4	
	m_3	2	2	2	2	2	2	
	m_4	—	2	—	2	—	2	
Schemat rozmieszczenia śrub	nr szeregu i	współczynniki rozdziału obciążenia w połączeniach zginanych $\omega_{ti}, (\omega_{ri})^{1)}$						
	1	0,8 ^{2),4)} (0,7)	—	0,7 ²⁾	—	0,7	—	
	2	1	1(0,9)	0,9	0,9	0,8	0,8	
	3	0,8	0,8 (0,6)	0,8 (0,6)	0,8 (0,6)	0,8	0,8 (0,6)	
	4 ³⁾	—	0,6	—	0,6	—	0,6	
1) Jeśli nie podano wartości w nawiasach, to należy przyjmować:		$\omega_{ri} = \omega_{ti}$		$\omega_{ri} = \omega_{ti} - 0,1$				
2) W przypadku usztywnienia blachy żebrą można przyjmować wartości większe o 0,1								
3) Jeśli w połączeniu występuje zewnętrzny szereg śrub nr 1, a nie stosuje się dodatkowych żeber, to śrub w szeregu nr 4 nie uwzględnia się przy zginaniu								
4) Jeśli występuje tylko zewnętrzny szereg śrub, to w razie braku żebra należy przyjmować $\omega = 1/\beta$								
Stan graniczny użytkowania								Stan graniczny nośności
