

POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

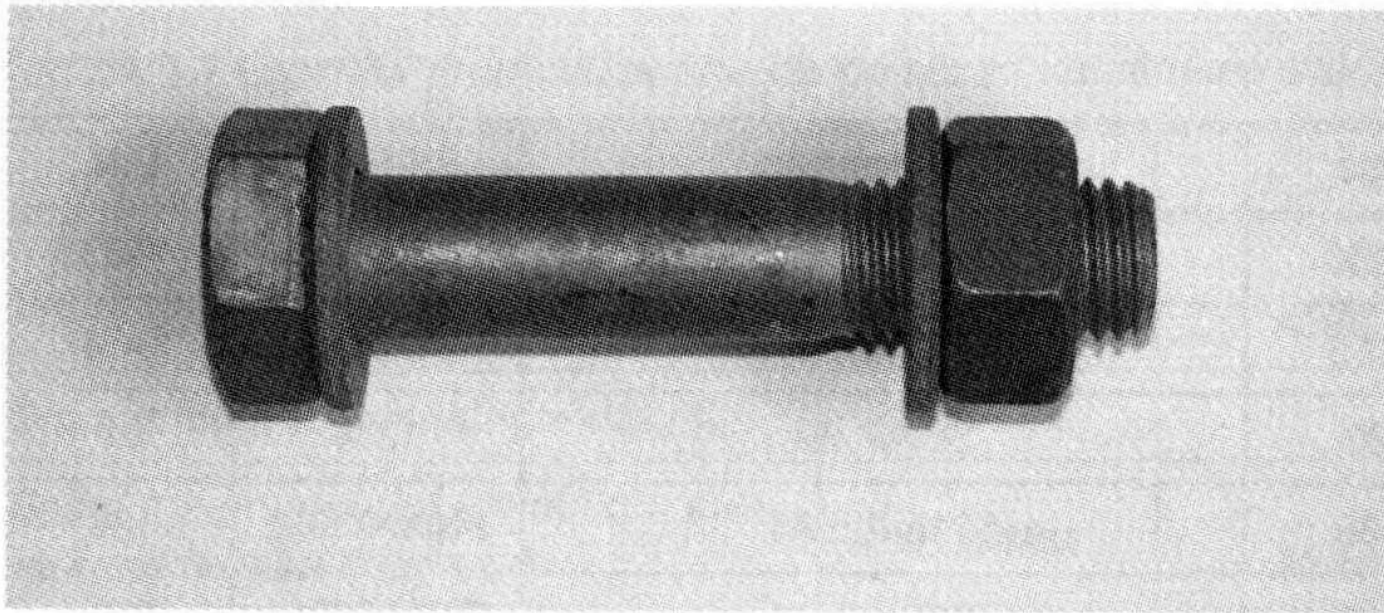
ASORTYMENT ŁĄCZNIKÓW

Asortyment wyrobów śrubowych obejmuje śruby do połączeń niesprężanych i sprężanych, zwykłe i pasowane z łbem sześciokątnym i stożkowym oraz nakrętki zwykłe, podwyższone i samo-zabezpieczające, a także podkładki płaskie i klinowe o różnej twardości i podkładki wskazujące sprężenie. Wymieniono również nakrętki napinające i pręty gwintowane na całej długości.

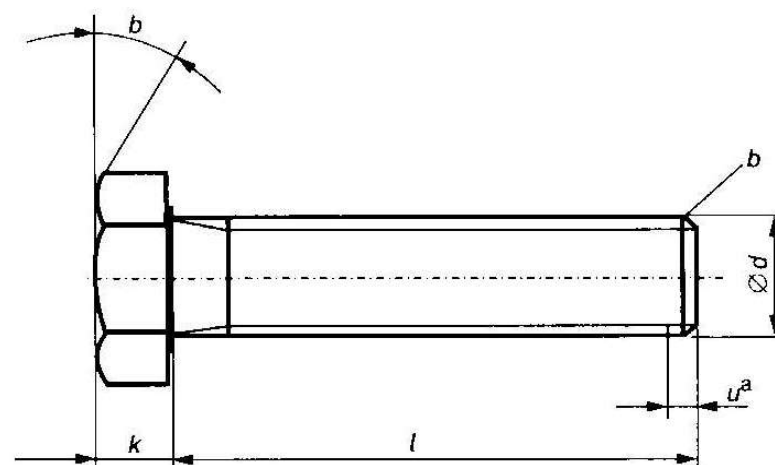
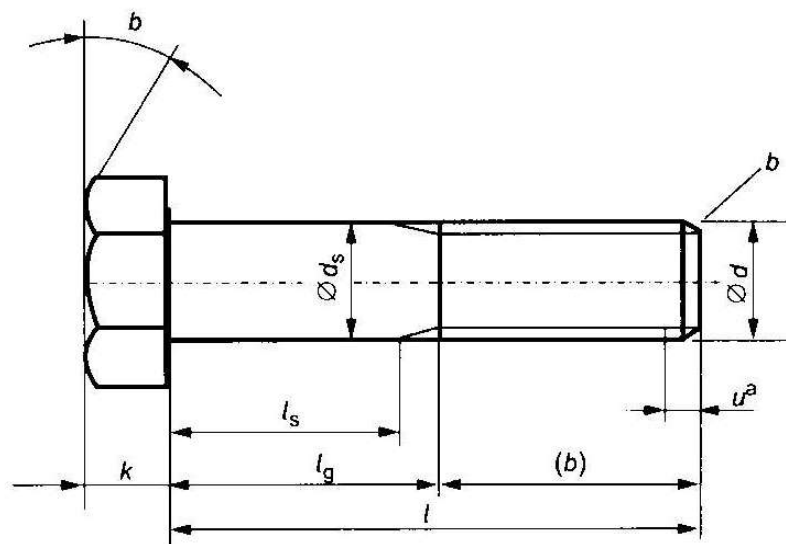
Pod względem dokładności wykonania śruby i nakrętki podzielone są na trzy klasy: dokładną – klasa A, średnio dokładną – klasa B i zgrubną – klasa C. Podkładki wykonywane są jako dokładne klasy A lub zgrubne klasy C. W konstrukcjach stalowych stosowane są powszechnie śruby i nakrętki klasy B z podkładkami klasy C do połączeń niesprężanych i klasy A do połączeń sprężanych.

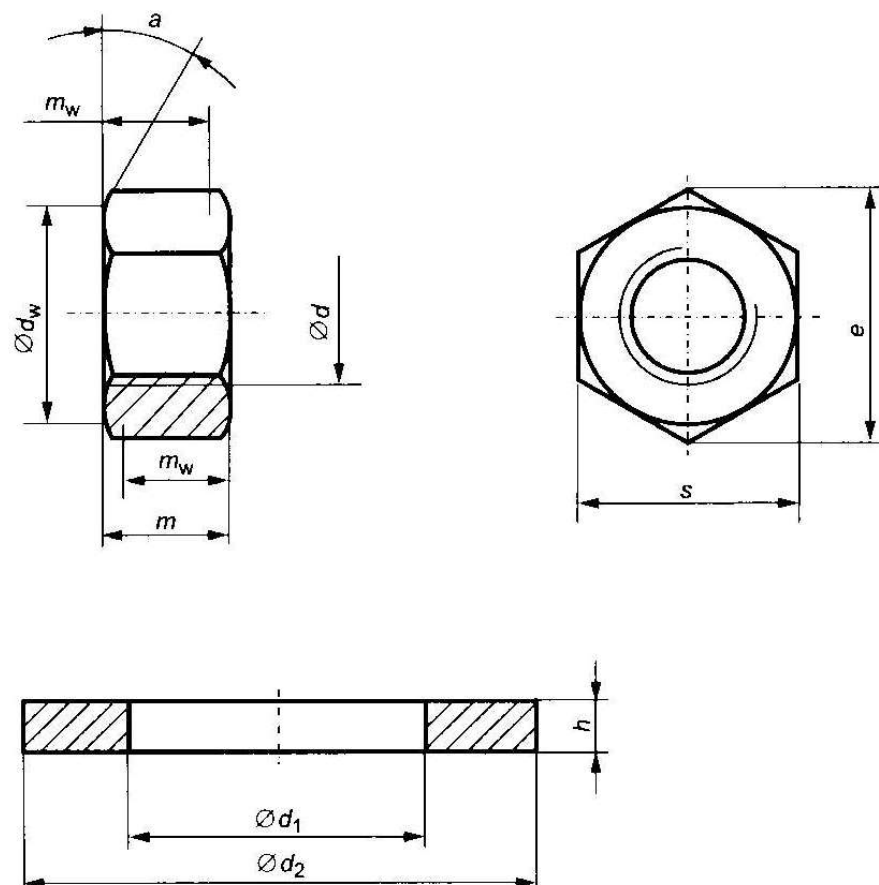
Klasy własności wytrzymałościowych śrub oznaczane są dwiema liczbami. Pierwsza liczba jest jedną setną nominalnej wytrzymałości na rozciąganie trzpienia śruby w MPa, a druga dziesięciokrotnym stosunkiem nominalnych wartości granicy plastyczności do wytrzymałości na rozciąganie trzpienia śruby, na przykład 10.9

$$R_m = 1000 \text{ MPa} \quad \text{zaś} \quad R_{0,2} / R_m = 0,9.$$

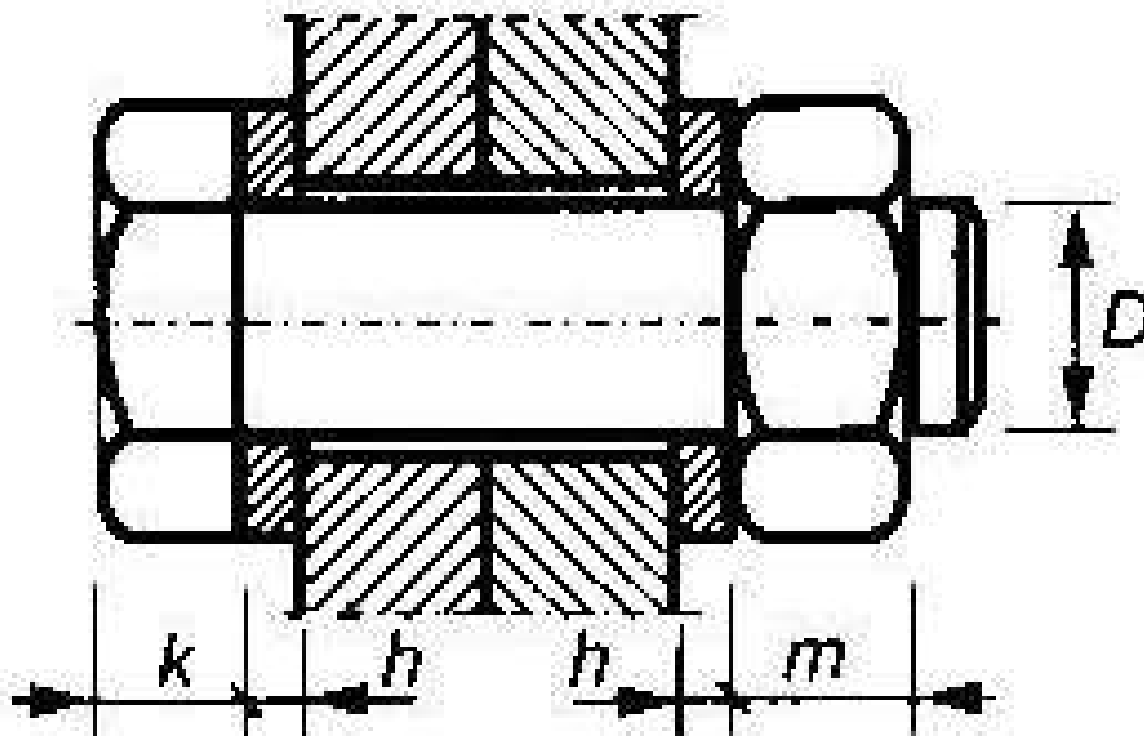


Rys. 3.2 Zestaw śruby z gwintem na części długości trzpienia z nakrętką i dwiema podkładkami do połączeń sprężanych





Rys. 3.3 Śruby według PN-EN ISO 4014 [3.30], PN-EN ISO 4017 [3.32] nakrętki według PN-EN ISO 4032 [3.34] i podkładki okrągłe według PN-EN ISO 7090 [3.44] do połączeń niesprężanych



POŁĄCZENIE ŚRUBOWE ZAKŁADKOWE /DOCZOŁOWE

WŁAŚCIWOŚCI ŚRUB I NAKRĘTEK

Wszystkie śruby, nakrętki i podkładki powinny być zgodne z normami grupy 4, zamieszczonymi w pkt. 1.2.4 normy [2]. Można przyjmować do obliczeń granice plastyczności f_{yb} i wytrzymałość śrub f_{ub} wg tablicy 4.3.2, traktując je w obliczeniach jako wartości charakterystyczne.

Tablica 4.3.2. Wartości nominalne granicy plastyczności f_{yb} i wytrzymałości na rozciąganie

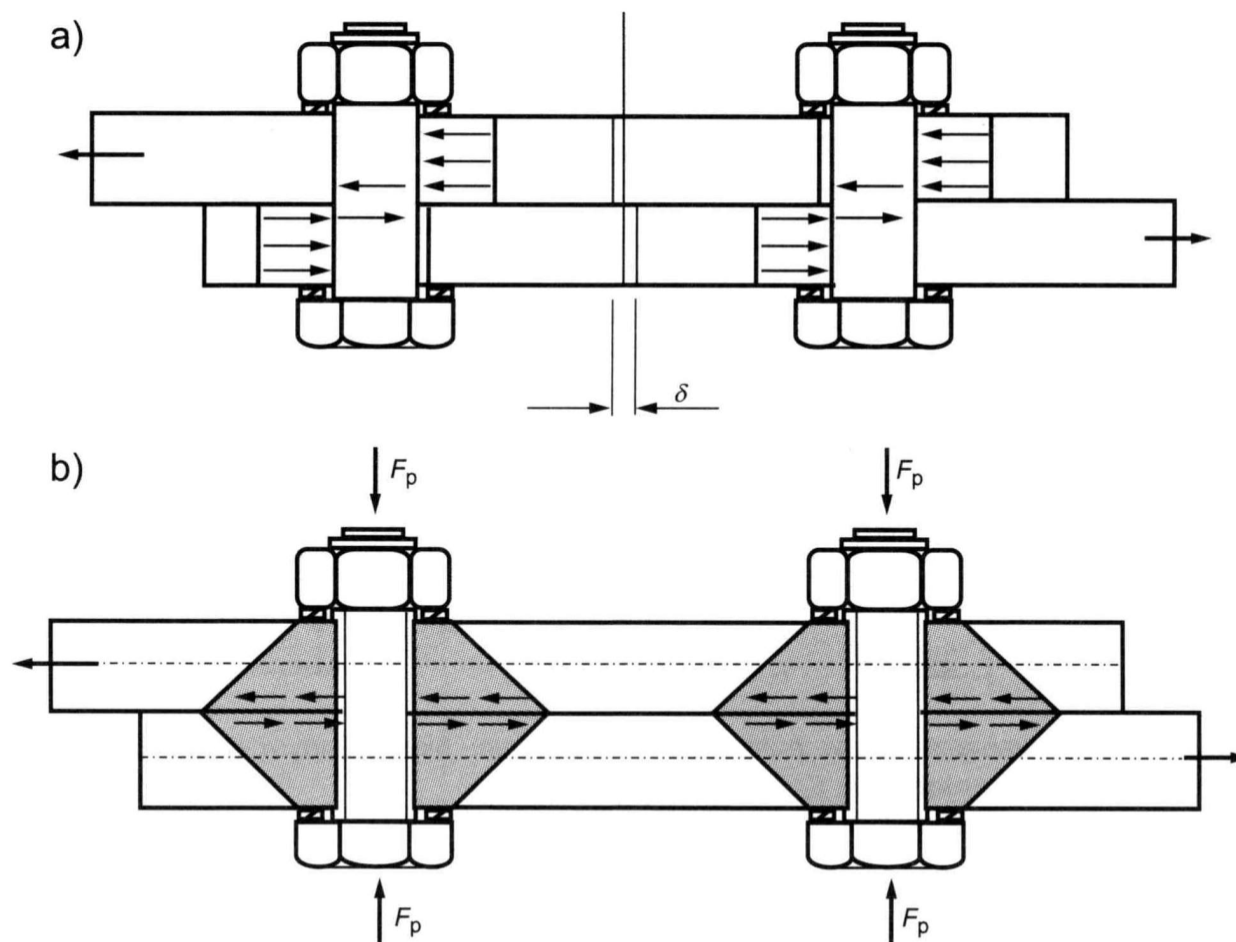
f_{ub}

Klasa śrub	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (MPa)	400	400	500	500	600	800	1000

KATEGORIE POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH

Kategoria A: połączenie zakładkowe typu dociskowego (rys. 3.33a). Łączniki w połączeniu przenoszą obciążenia prostopadłe do trzpienia przez ścinanie i docisk do ścianki otworu. W połączeniach kategorii A stosuje się śruby klas 4.6 do 10.9, nity lub sworznie. Śruby i sworznie mogą być osadzone z luzem w otworach lub bez luzu jako pasowane. Połączenia nie wymagają sprężania i przygotowania powierzchni styków. Obliczeniowe obciążenie nie powinno przekraczać nośności łączników na ścinanie i na docisk $F_{v,Ed} \leq \min(F_{b,Rd}, F_{v,Rd})$. W połączeniach zakładkowych kategorii A na śruby klasy 8.8 lub 10.9 można stosować sprężenie siłą $0,5F_p$, w celu zwiększenia szczelności styków i nośności na docisk do ścianki otworów.

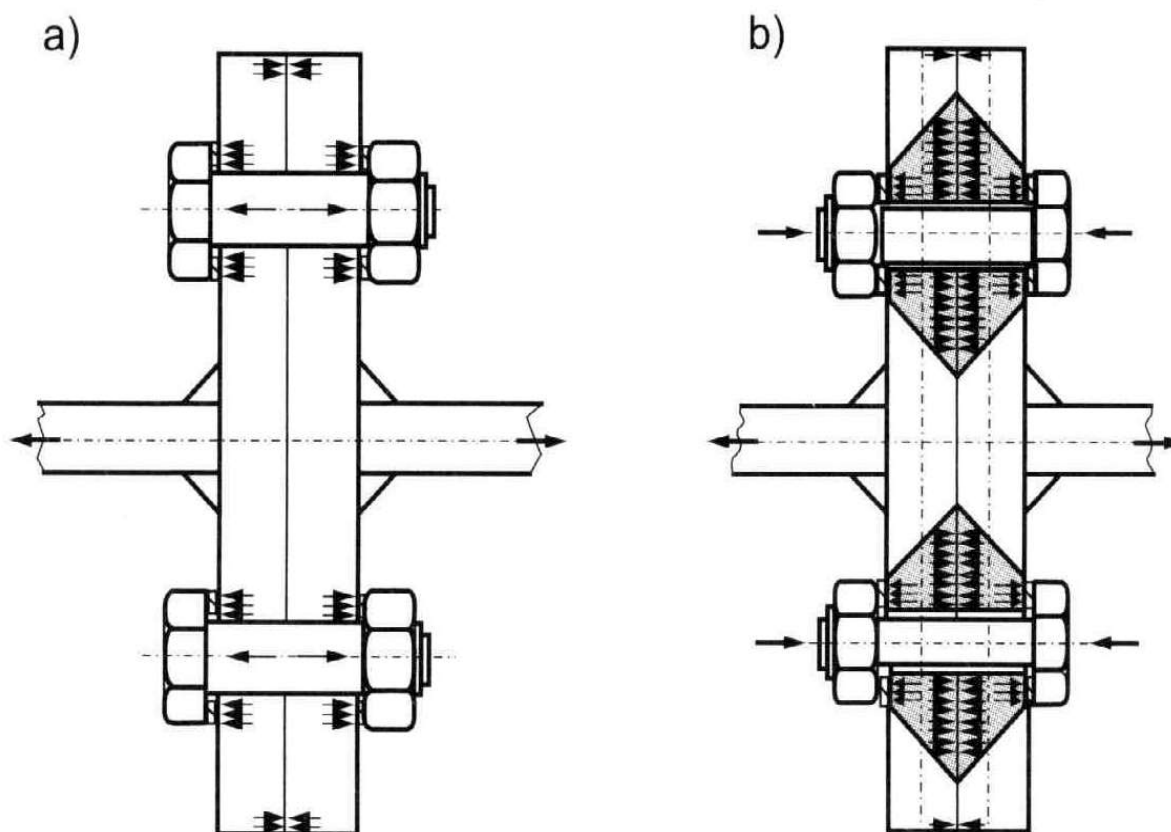
Kategoria B: połączenia cierne w stanie granicznym użytkowalności (rys. 3.33b). Połączenia przenoszą obciążenia prostopadłe do trzpieni śrub wskutek oporu tarcia odpowiednio przygotowanych powierzchni styku łączonych części. Poślizg styku nie powinien nastąpić w stanie granicznym użytkowalności. Wartość charakterystyczna obciążenia ścinającego nie powinna być większa od nośności obliczeniowej połączenia na poślizg $F_{v,Ed.ser} \leq F_{s,Rd}$ obliczonej według 3.9, a wartość obliczeniowa nie powinna przekroczyć nośności obliczeniowych na ścinanie i na docisk $F_{v,Ed} \leq \min(F_{b,Rd}, F_{v,Rd})$, ani nośności obliczeniowej przekroju netto $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$. W połączeniach kategorii B stosuje się śruby do sprężania klas 8.8, 10.9



Rys. 3.33 Schematy przekazywania sił w połączeniu: a) zakładkowym typu dociskowego kategorii A, b) zakładkowym ciernym kategorii B i C

Kategoria C: połączenia cierne w stanie granicznym nośności (rys. 3.33b). Połączenia przenoszą obciążenia w taki sposób jak połączenia kategorii B. Poślizg styku nie powinien nastąpić w stanie granicznym nośności $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$. Obliczeniowe obciążenie ścinające nie powinno więc przekroczyć nośności obliczeniowej na poślizg ani nośności na docisk i ścinanie $F_{v,Ed} \leq \min(F_{b,Rd}, F_{v,Rd})$. W przypadku połączeń rozciąganych należy ponadto sprawdzić warunek nieprzekroczenia nośności plastycznej przekroju netto z otworami na śruby (patrz 6.2 w PN- EN 1993-1-1 [1.23]), przy obliczeniowych wartościach oddziaływań $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$. W połączeniach kategorii C stosuje się śruby do sprężania klas 8.8 10.9 i 80.

Kategoria D: połączenia doczołowe niesprężane (rys. 3.34a). Śruby w połączeniu przenoszą obciążenia rozciągające trzpienie. Obliczeniowe obciążenie rozciągające, działające na śrubę w połączeniu, nie powinno przekroczyć nośności śruby na rozciąganie i przeciągnięcie łba śruby przez blachę $F_{t,Ed} \leq \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$ oraz lokalnej nośności łączonych części. Obciążenie to określa się z uwzględnieniem efektu dźwigni wynikającego z podpierania się brzegów odkształcanych blach czołowych. Połączenia tej kategorii nie powinny być stosowane przy wielokrotnie zmiennym obciążeniu rozciągającym. Połączenia na śruby klasy nie wyższej niż 6.8 mogą być jednak używane do przenoszenia statycznych obciążeń wiatrem. Do połączeń kategorii D powinny być dobierane śruby znacznej ciągliwości. Z tego powodu nie zaleca się stosować w nich śrub klasy 8.8 i 10.9.



Rys. 3.34 Schemat przekazywania sił: a) w połączeniu doczołowym niesprężanym kategorii D, b) w połączeniu doczołowym sprężanym kategorii E

Kategoria E: połączenia doczołowe sprężane (rys. 3.34b). Połączenia przenoszą obciążenia rozciągające równoległe do trzpieni śrub przez zmniejszanie sił docisku wywołanych wstępnym sprężeniem styku łączonych części. Obliczeniowe obciążenie rozciągające, działające na śrubę w połączeniu, nie powinno przekroczyć nośności śruby na rozciąganie oraz lokalnej nośności łączonych części $F_{t,Ed} \leq \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$. W przypadkach wielokrotnie zmiennych obciążeń rozciągających obliczeniowa siła działająca na śrubę w połączeniu nie powinna przekroczyć obliczeniowej wartości siły sprężenia $F_{t,Ed} \leq F_{p,Cd}$. Wymaganie to wynika z potrzeby, aby przed obliczeniowym stanem granicznym nie nastąpiło rozwarcie styku sprężanego i wskutek tego obciążenie śruby pełnym zakresem zmienności naprężeń (patrz rozdz. 11). W połączeniach kategorii E stosuje się zestawy śrub do sprężania klas 8.8, 10.9 i 80.

Połączenia mogą być projektowane zgodnie z podanymi kryteriami jako niepełnej nośności na ekstremalne wartości obciążeń charakterystycznych lub obliczeniowych, albo jako pełnej nośności na nośność obliczeniową przekroju elementów łączonych. W połączeniach o pełnej nośności elementów osiowo rozciąganych powinny być spełnione następujące warunki:

– w połączeniach zakładkowych

$$\min(\sum F_{b,Rd}, \sum F_{v,Rd}) \geq N_{u,Rd} ; \quad \text{gdzie} \quad N_{u,Rd} = 0,9A_{net} f_u / \gamma_{M2}, \gamma_{M2} = 1,25,$$

– w połączeniach doczołowych

$$\min \sum F_{t,Rd} \geq N_{pl,Rd} ; \quad \text{gdzie} \quad N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}, \gamma_{M0} = 1,0.$$

Przy projektowaniu połączeń należy oceniać możliwość zmiany wartości sił przyjmowanych do obliczeń. Celowe jest zwiększanie rezerwy bezpieczeństwa konstrukcji przez projektowanie połączeń na pełną nośność elementów łączonych w węzłach krytycznych danego ustroju np. w pasie dolnym w połowie rozpiętości wiażara. Kryteria obliczeniowe połączeń zestawiono w tablicy 3.20.

PODSTAWY PROJEKTOWANIA POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH
Wartości współczynników częściowych przy projektowaniu węzłów

Nośność elementów i przekrojów	$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}, \gamma_{M2}$ – patrz EN1993-1-1 Wg pkt. 6.1. w EN 1993-1-1: $\gamma_{M0} = 1,00, \gamma_{M1} = 1,00,$ $\gamma_{M2} = 1,25,$ Wg postanowienia krajowego NA 14 przyjmuje się $\gamma_{M0} = 1,00, \gamma_{M1} = 1,00,$ oraz $\gamma_{M2} = \min(1,1; 0,9 f_u / f_y)$ Wartości współczynników wg normy i załącznika krajowego można traktować jako alternatywne.
Nośność śrub	$\gamma_{M2} = 1,25$
Nośność nitów	
Nośność sworzni	
Nośność spoin	
Nośność blach na docisk	
Nośność na poślizg: - w stanie granicznym nośności (kategoria C), - w stanie granicznym użytkowości (kategoria B)	$\gamma_{M3} = 1,25$ $\gamma_{M3,ser} = 1,1$
Nośność na docisk śrub z iniekcją	$\gamma_{M4} = 1,0$
Nośność sworzni w stanie granicznym użytkowości	$\gamma_{M6,ser} = 1,0$
Siła sprężania w śrubach o wysokiej wytrzymałości	$\gamma_{M7} = 1,1$

Kategoria	Kryteria obliczeniowe ^{1), 2)}	Uwagi
Połączenia zakładkowe		
A Połączenie typu dociskowego	$F_{v,Ed} \leq \min(F_{b,Rd}, F_{v,Rd})$	sprężenie nie jest wymagane jeśli wymagana jest zdolność do przemieszczeń $F_{v,Rd} > F_{b,Rd}$
B Połączenie cierne w stanie granicznym użytkowości	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq \min(F_{b,Rd}, F_{v,Rd})$ $\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	odporność na poślizg w stanie granicznym użytkowości, zaleca się śruby do sprężania klas 8.8 10.9 lub 80 ³⁾ .
C Połączenie cierne w stanie granicznym nośności	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq \min(F_{b,Rd}, F_{v,Rd})$ $\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	odporność na poślizg w stanie granicznym nośności, zaleca się śruby do sprężania klas 8.8 10.9 lub 80 ³⁾ .
Połączenia doczołowe		
D niesprężane	$F_{t,Ed} \leq \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$	sprężenie nie jest wymagane, zaleca się stosować śruby klas 4.6 do 6.8.
E sprężane	$F_{t,Ed} \leq \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$	zaleca się śruby do sprężania klas 8.8 10.9 lub 80 ³⁾ , przy obciążeniach dynamicznych powinien być także spełniony warunek $F_{t,Ed} \leq F_{p,Cd}$

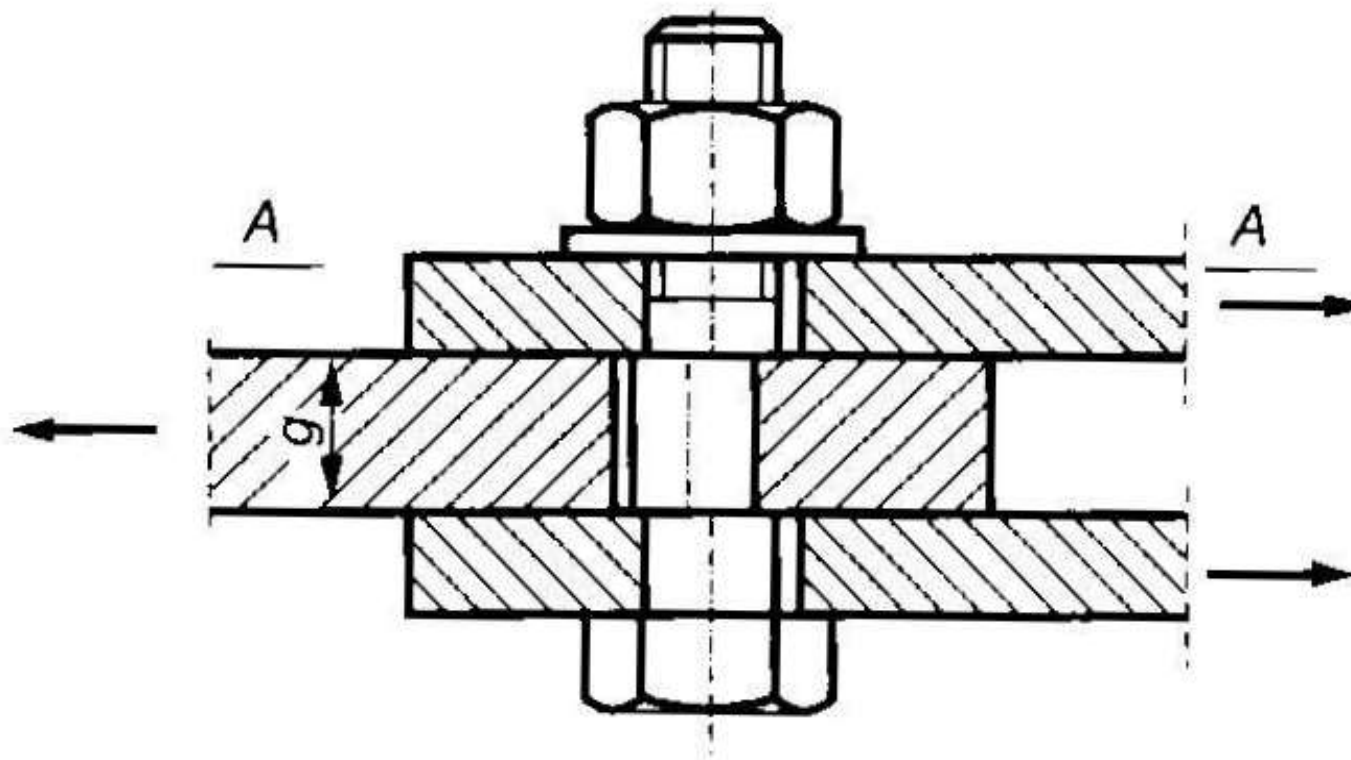
¹⁾ obliczeniowa siła rozciągająca $F_{t,Ed}$ powinna uwzględniać siłę efektu dźwigni. Śruby obciążone siłami rozciągającą i ścinającą powinny także spełniać warunki odnoszące się do złożonego stanu wyężenia,

²⁾ w połączeniach o pełnej nośności powinien być spełniony warunek:

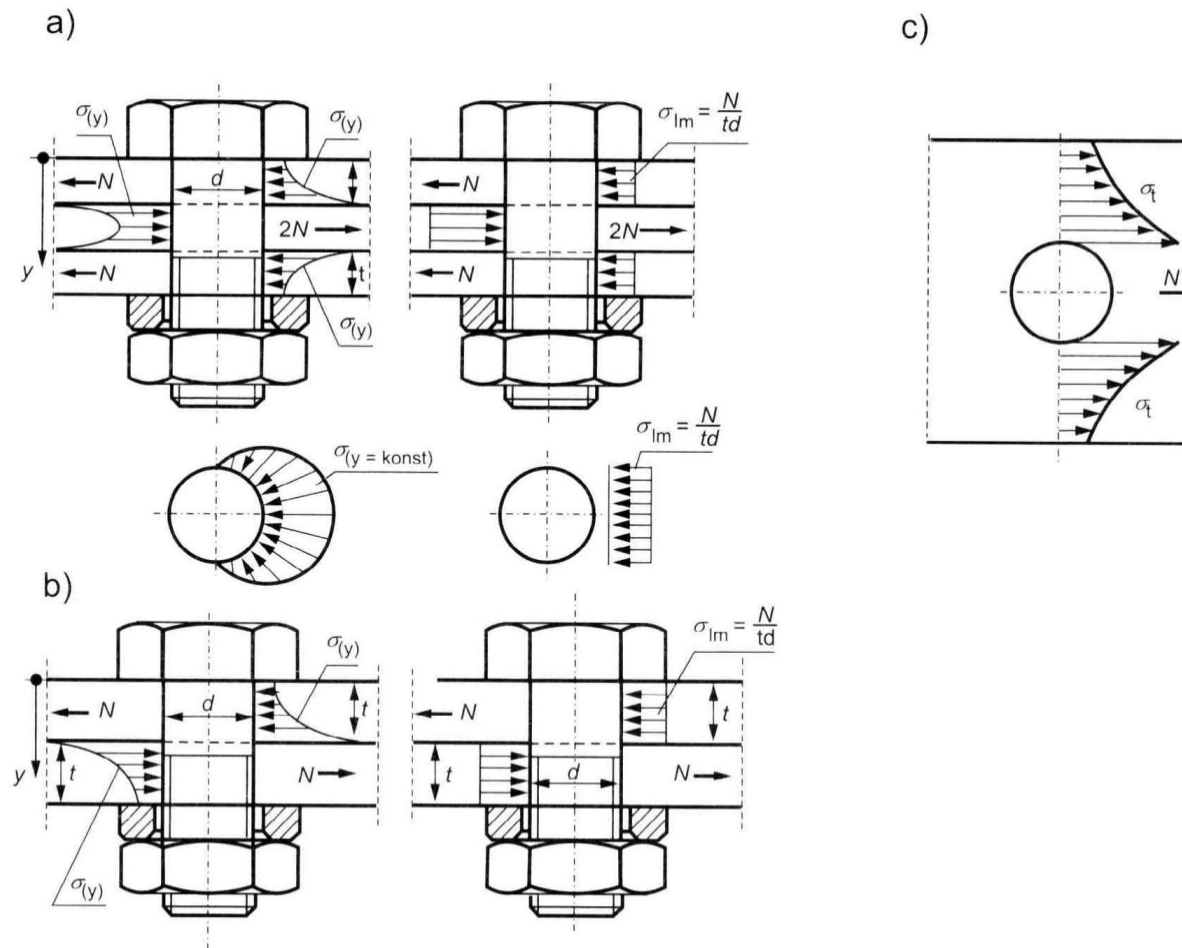
- w połączeniach zakładkowych $\min(\sum F_{b,Rd}, \sum F_{v,Rd}) \geq N_{u,Rd}$; gdzie $N_{u,Rd} = 0,9A_{net} f_u / \gamma_{M2}$,
- w połączeniach doczołowych $\sum F_{t,Rd} \geq N_{pl,Rd}$; gdzie $N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$,

³⁾ zaleca się sprawdzenie relaksacji śrub klasy 80 przed stosowaniem do sprężania.

NOŚNOŚĆ POJEDYNCZYCH ŚRUB

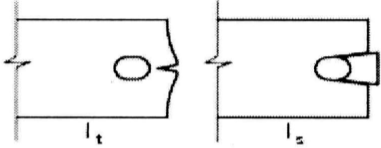
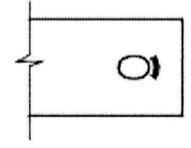
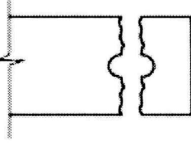
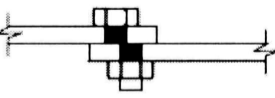
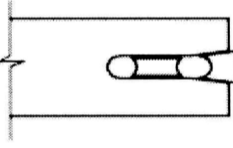
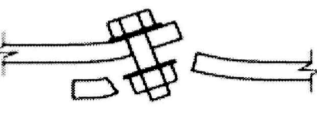


ŚCIĘCIE ŚRUBY W POŁĄCZENIU ZAKŁADKOWYM



Rys. 3.39 Rozkład naprężeń docisku trzpienia śruby do ścianki otworu: a) rzeczywisty, b) obliczeniowy, c) rozkład naprężeń w przekroju netto

Tablica 4.4.2. Modele zniszczenia połączeń typu dociskowego

Opis modelu zniszczenia	Model zniszczenia	Współczynnik
Model I (I_t , I_s) (rozerwanie lub ścięcie)		$\alpha = \frac{e_1}{3d_o}$
Model II (zniszczenie w strefie docisku)		$\alpha = 1,0$
Model III (zniszczenie przekroju netto)		
Model IV (ścięcie śruby)		
Model V (rozerwanie blokowe)		$\alpha = \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}$
Zniszczenie z uwagi na przeciąganie		$\alpha = 0,6$

Wzory	Objaśnienia
<p>Nośność na ścinanie (w odniesieniu do jednej płaszczyzny ścinania)</p> <p>- śruby:</p> $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8)$ <p>- nity:</p> $F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}} \quad (9)$	<p>A, A₀ –nominalne pola przekroju trzpienia śruby i nitu,</p> <p>f_{ub}, f_{ur} - wytrzymałość na rozciąganie materiału śrub i nitów,</p> <p>$\alpha_v = 0,6$ – gdy płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez część gwintowaną śruby, w innym przypadku $\alpha_v=0,6$ dla śrub klasy 4.6, 5.6 i 8.8; oraz $\alpha_v=0,5$ dla śrub klas 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9.</p> <p>Gdy płaszczyzna ścinania przechodzi przez część gwintowaną śruby, wówczas zamiast pola przekroju A należy wstawić pole przekroju rdzenia śruby A_s.,</p> <p>$\gamma_{M2} = 1,25$ - częściowy współczynnik bezpieczeństwa</p>

Nośność na docisk

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (10)$$

$$\text{gdzie: } \alpha_b = \min \left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) \quad (11)$$

- dla śrub skrajnych: $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_o}$

- dla śrub pośrednich $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}$

- dla śrub skrajnych:

$$k_1 = 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_o} - 1,7 \leq 2,5$$

- dla śrub pośrednich

$$k_1 = 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_o} - 1,7 \leq 2,5$$

α_b – współczynnik uwzględniającym model zniszczenia złącza,

α_d – współczynnik uwzględniający rozstaw śrub w kierunku obciążenia,

k_1 – współczynnik uwzględniający rozstaw śrub w kierunku prostopadłym do obciążenia,

f_{ub}, f_u – wytrzymałość na rozciąganie materiału śrub i materiału łączonych elementów,

d – średnica trzpienia śruby,

d_o – średnica otworu na śrubę,

t – suma grubości rozpatrywanego elementów,

e_1, e_2, p_1, p_2 – wymiary geometryczne złącza.

	<p>γ_{M2} - jak powyżej,</p> <p>Nośność śrub na docisk należy zmniejszyć o 20%, gdy są stosowane w otworach powiększonych i o 40%, gdy śruby są umieszczone w otworach owalnych, wydłużonych w kierunku działania siły.</p> <p>Dla śruby z łbem wpuszczanym przyjmowaną grubość łączonego elementu t zmniejsza się o połowę głębokości wpuszczenia łba.</p> <p>Gdy kierunek obciążenia śruby jest ukośny względem brzegu blachy, wówczas nośność sprawdza się, rozpatrując oddzielnie składowe obciążenia równoległe i prostopadłe do brzegu blachy.</p>
--	---

Nośność na rozciąganie:

- śruby:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (12)$$

- nity:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}} \quad (13)$$

k_2 – współczynnik uwzględniający rodzaj łba śruby; dla śrub z łbem wpuszczanym $k_2 = 0,63$, w pozostałych przypadkach $k_2 = 0,9$.

A_s , A_0 , f_{ub} , f_{ur} i γ_{M2} - jak powyżej

<p>Nośność na przeciągnięcie łba (w odniesieniu do śrub):</p> $B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad (14)$	<p>d_m – średnia średnica łba śruby lub nakrętki, t_p – grubość blachy, f_u i γ_{M2} - jak powyżej Dla nitów nośności na przeciągnięcie nie sprawdza się.</p>
<p>Nośność na poślizg styku (na jedną płaszczyznę tarcia):</p> $F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,c} \quad (15)$ <p>gdzie siła sprężająca $F_{p,c}$ dla śrub klasy 8.8 i</p>	<p>k_s – współczynnik zależny od rodzaju otworów μ – współczynnik tarcia, $\gamma_{M3} = 1,25$ – współczynnik bezpieczeństwa;</p>
<p>10.9 z kontrolowanym momentem dokręcenia:</p> $F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s \quad (16)$	<p>w przypadku obliczania nośności na poślizg w stanie granicznym użytkowalności $F_{s,Rd,ser}$, do wzoru przyjmuje się współczynnik $\gamma_{M3,ser} = 1,1$, f_{ub} i A_s - jak powyżej</p>

Nośność plastyczna przekroju netto:

W przypadku przekroju osłabionego
otworami na łączniki

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (17)$$

W przypadku połączeń kategorii C,
obliczeniową nośność przy rozciąganiu
przyjmuje się równą:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (18)$$

A_{net} – przekrój netto, po odpowiednim
potrąceniu z przekroju brutto wszelkich
otworów,

f_u, f_y – wytrzymałość na rozciąganie i
granica plastyczności materiału elementów
łączonych,

$\gamma_{M0} = 1,0; \gamma_{M2} = 1,25;$ – współczynniki
bezpieczeństwa.

Wartości granicy plastyczności f_{yb} i wytrzymałości na rozciąganie f_{ub} stali śrub oraz nośności obliczeniowe śrub (kN) z warunku ściska trzpienia $F_{v,Rd}$, ściska rdzenia $F_{vs,Rd}$ i rozciągania $F_{t,Rd}$ wyznaczone według [8]

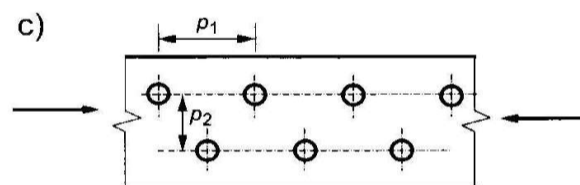
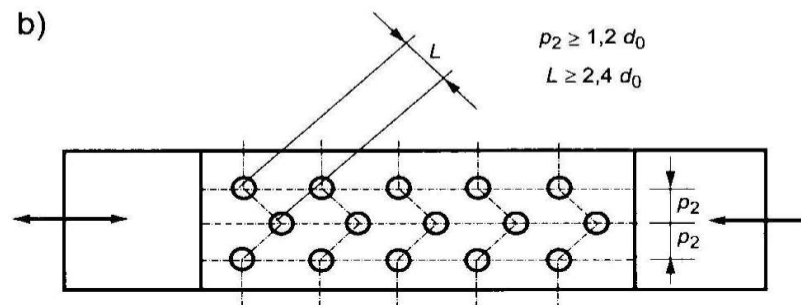
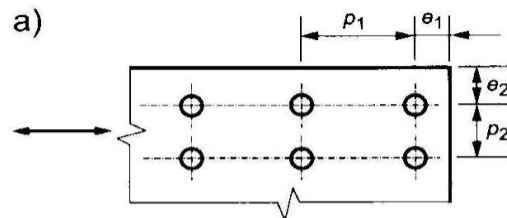
Śruba	Powierzchnia przekroju mm^2	Klasa śruby	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
		f_{yb} , MPa	240	320	300	400	480	640	900
		f_{ub} , MPa	400	400	500	500	600	800	1000
M12	$A = 113$	$F_{v,Rd}$	21,70	21,70	27,12	27,12	32,54	43,39	54,24
	$A_s = 84,3$	$F_{vs,Rd}$	16,18	13,49	20,23	16,86	20,23	32,37	33,72
		$F_{t,Rd}$	24,28	24,28	30,35	30,35	36,42	48,56	60,70
M16	$A = 201$	$F_{v,Rd}$	38,60	38,60	48,24	48,24	57,89	77,18	96,48
	$A_s = 157$	$F_{vs,Rd}$	30,14	25,12	37,68	31,40	31,68	60,29	62,80
		$F_{t,Rd}$	45,21	45,21	56,52	56,52	67,82	90,43	113,04
M20	$A = 314$	$F_{v,Rd}$	60,29	60,29	75,36	75,36	90,43	120,57	150,72
	$A_s = 245$	$F_{vs,Rd}$	47,04	39,20	58,80	49,00	58,80	94,08	98,00
		$F_{t,Rd}$	70,56	70,56	88,20	88,20	105,84	141,12	176,40
M22	$A = 380$	$F_{v,Rd}$	72,96	72,96	91,20	91,20	109,44	145,92	182,40
	$A_s = 303$	$F_{vs,Rd}$	58,17	48,48	72,72	60,60	72,72	116,35	121,20
		$F_{t,Rd}$	87,26	87,26	109,08	109,08	130,90	174,53	218,16
M24	$A = 452$	$F_{v,Rd}$	86,78	86,72	108,48	108,48	130,17	173,57	216,96
	$A_s = 353$	$F_{vs,Rd}$	67,78	56,48	84,72	70,60	84,72	135,55	141,20
		$F_{t,Rd}$	101,66	101,66	127,08	127,08	152,50	203,33	254,16
M27	$A = 573$	$F_{v,Rd}$	110,02	110,02	137,52	137,52	165,02	220,03	275,04
	$A_s = 459$	$F_{vs,Rd}$	88,13	73,44	110,16	91,80	110,16	176,25	183,60
		$F_{t,Rd}$	132,19	132,19	165,24	165,24	198,27	264,38	330,48
M30	$A = 707$	$F_{v,Rd}$	135,74	135,74	169,69	169,69	203,62	271,49	339,36
	$A_s = 561$	$F_{vs,Rd}$	107,72	89,76	134,64	112,2	134,64	215,42	224,40
		$F_{t,Rd}$	161,57	161,57	201,96	201,96	242,35	323,14	403,92
M36	$A = 1018$	$F_{v,Rd}$	195,46	195,46	244,32	244,32	293,18	390,91	488,64
	$A_s = 817$	$F_{vs,Rd}$	156,86	130,72	196,08	163,40	196,08	313,73	326,80
		$F_{t,Rd}$	235,18	235,30	294,12	294,12	352,94	470,59	588,24

Nośności obliczeniowe śrub na docisk $F_{b,Rd,1}$ do ścianki o grubości 10 mm, ze stali S235, S275 i S355, wyznaczone według [8]

Śruba		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Średnica trzpienia śruby d		12	16	20	22	24	27	30	36
Średnica otworu d_o		13	18	22	24	26	30	33	39
Minimalne odległości i rozstawy śrub	$e_1 \approx 1,2 d_o$	16	22	27	29	32	36	40	47
	$e_2 \approx 1,2 d_o$	16	22	27	29	32	36	40	47
	$p_1 \approx 2,2 d_o$	29	40	49	53	58	66	73	86
	$p_2 \approx 2,4 d_o$	32	44	53	58	63	72	80	94
Nośność na docisk $F_{b,Rd,1}$ skrajnych śrub o minimalnych rozstawach	S 235	22,95	30,58	38,25	42,05	45,88	51,61	57,37	68,82
	S 275 [*]	27,40	36,52	45,66	50,23	54,80	61,64	68,50	82,20
	S 355 ^{**}	32,50	43,32	54,16	59,57	65,00	73,11	81,24	97,50
Nośność na docisk $F_{b,Rd,1}$ pośrednich śrub o minimalnych rozstawach	S 235	27,52	36,69	45,86	50,44	55,04	61,91	68,80	82,55
	S 275 [*]	32,87	43,82	54,78	60,25	65,74	73,95	82,18	98,60
	S 355 ^{**}	38,98	51,98	64,97	71,45	77,97	87,70	97,46	116,9
Odległości i rozstawy śrub, przy których występuje maksymalna nośność na docisk	$e_1 \approx 3,0 d_o$	39	54	66	72	78	90	100	117
	$e_2 \approx 1,5 d_o$	20	27	33	36	39	45	50	59
	$p_1 \approx 3,75 d_o$	49	68	83	90	98	113	124	147
	$p_2 \approx 3,0 d_o$	39	54	66	72	78	90	100	117
Maksymalna nośność na docisk $F_{b,Rd,1}$ śrub skrajnych i pośrednich	S 235	86,4	115,0	144,0	158,4	172,8	194,4	216,0	259,2
	S 275 [*]	103,2	137,6	172,0	189,2	206,4	232,2	258,0	309,6
	S 355 ^{**}	122,4	163,2	204,0	224,4	244,8	275,4	306,0	367,2
<p>1. Nośność obliczeniowa śrub na docisk do ścianki o grubości t [mm] wynosi $F_{b,Rd} = F_{b,Rd,1} \frac{t}{10}$.</p> <p>2. Nośności $F_{b,Rd}$ obliczono dla grubości blach $t < 40$ mm.</p> <p>3. * – dla śrub klasy 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 i 10.9.</p> <p>4. ** – dla śrub klasy 6.8, 8.8 i 10.9.</p>									

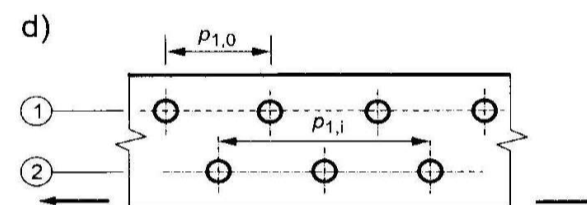
POŁĄCZENIA ZAKŁADKOWE TYPU DOCISKOWEGO

ROZMIESZCZENIE (ROZSTAW I ODLEGŁOŚCI) ŁĄCZNIKÓW / POŁĄCZENIACH



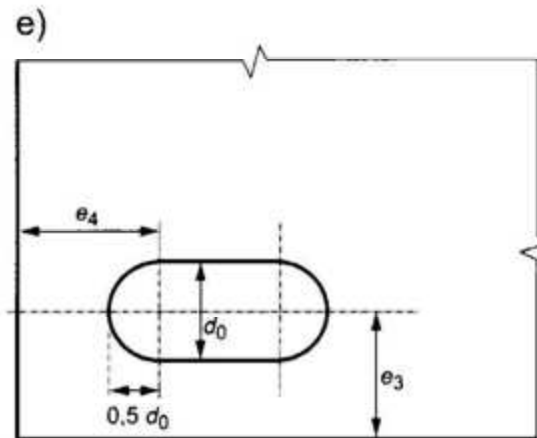
$$p_1 < 14t \text{ oraz } \leq 200 \text{ mm}$$

$$p_2 \leq 14t \text{ oraz } \leq 200 \text{ mm}$$



1. szereg zewnętrzny 2. szereg wewnętrzny

$$p_{1,0} \leq 14t \text{ oraz } \leq 200 \text{ mm} \quad p_{1,i} \leq 28t \text{ oraz } \leq 400 \text{ mm}$$



Rys. 3.37 Odległości i rozstawy łączników [1.22]: a) symbole rozstawów i odległości brzegowych, b) symbole rozstawów w układzie przestawionym, c) rozstawy w układzie przestawionym w elementach ściskanych, d) rozstawy w układzie przestawionym w elementach rozciąganych, e) odległości czołowe i boczne w przypadku otworów owalnych

Tablica 3.22 Najmniejsze i największe rozstawy i odległości od brzegów [1.22]

Odległości i rozstawy patrz rys. 3.37	Minimum	Maksimum ^{1) 3)}		
		konstrukcje wykonane ze stali według PN-EN 10025 z wyjątkiem stali trudno rdzewiejącej PN-EN 10025-5 [1.10]		konstrukcje wykonane ze stali trudnordzewiejącej
		stal narażona na wpływy atmosferyczne lub koro- zyjne	stal nie narażona na wpły- wy atmosferyczne lub koro- zyjne	stal stosowana bez zabezpieczeń
Odległość czołowa e_1	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	$(3d_0)$	wartość większa: $8t$ lub 125 mm
Odległość boczna e_2	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	$(1,5d_0)$	wartość większa: $8t$ lub 125 mm
Odległości e_3, e_4 otworów owalnych	$1,5d_0$			
Rozstaw p_1	$2,2d_0$	wartość mniejsza: $14t$ lub 200 mm	$(3,75d_0)^{2)}$	wartość mniejsza: $14t_{\min}$ lub 175 mm
Rozstaw $p_2^{4)}$	$2,4d_0$	wartość mniejsza: $14t$ lub 200 mm	$(3d_0)^{2)}$	wartość mniejsza: $14t_{\min}$ lub 175 mm

¹⁾ największe wartości rozstawów oraz odległości czołowych i bocznych podano w nawiasach dla największej nośności na docisk. Wartości te nie są ograniczane, z wyjątkiem następujących przypadków:

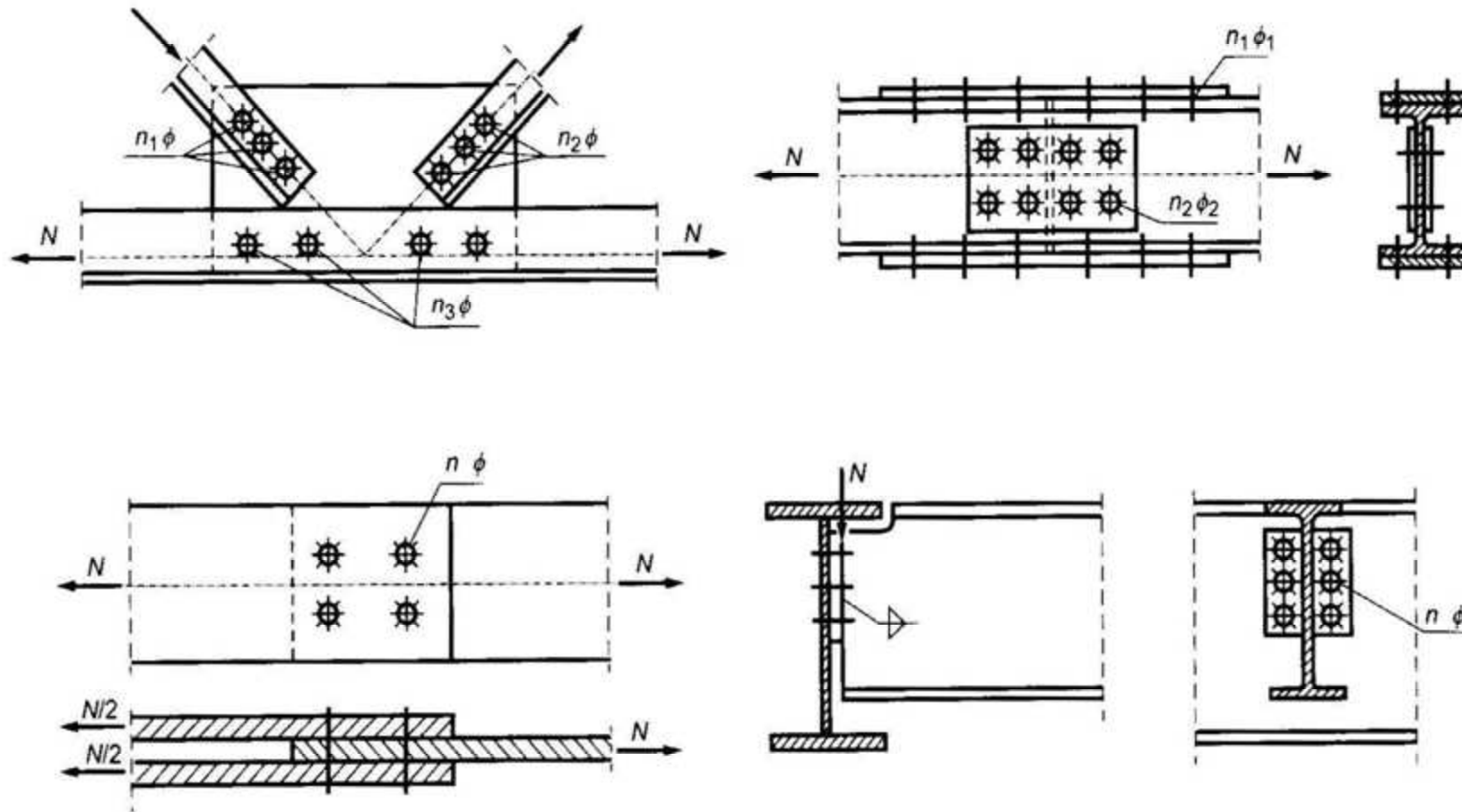
- w elementach ściskanych, aby nie dopuścić do wybrzuszenia i zapobiec korozji elementów ekspozowanych,
- w ekspozowanych elementach rozciąganych, aby zapobiec korozji,

²⁾ lub wartość mniejsza $14t$ lub 200 mm,

³⁾ t grubość cieńszej zewnętrznej części łączzonej,

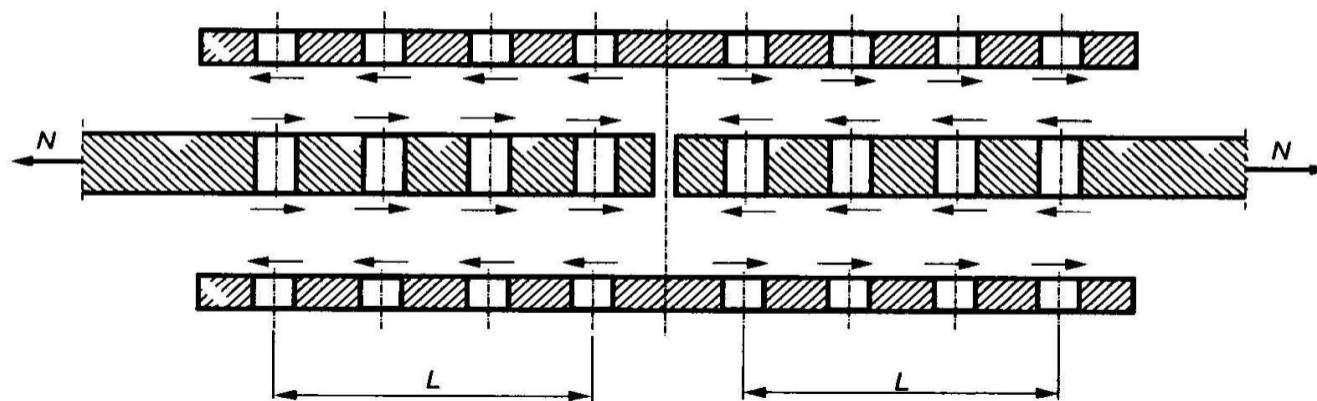
⁴⁾ przy przedstawionych szeregach łączników może być stosowany najmniejszy rozstaw szeregów $p_2 = 1,2d_0$ pod warunkiem, że najmniejsza odległość L między dwoma łącznikami wynosi co najmniej $2,4d_0$, (patrz rys. 3.37 b).

STANY GRANICZNE POŁĄCZEŃ ZAKŁADKOWYCH

ROZKŁAD SIŁ W POŁĄCZENIACH OBCIĄŻONYCH OSIOWO

Rys. 3.40 Przykłady połączeń zakładkowych obciążonych osiowo

Sposób przekazywania obciążeń w połączeniu zakładkowym na łączniki mechaniczne najlepiej prześledzić na schemacie złącza z dwiema nakładkami, rys. 3.41.



Rys. 3.41 Schemat przekazywania sił w połączeniu rozciągającym z dwiema nakładkami

Siła N działająca w blasze przekazuje się stopniowo przez kolejne łączniki i maleje do zera w miarę zbliżania się do końca blachy. Nakładki przejmują obciążenie z kolejnych łączników. Siły w nich rosną, aż do wartości $0,5N$.

$$N_{i,i+1} = N - 2 \sum_{i=1}^i F_v \quad \text{siła w blasze,} \quad (3.13)$$

$$N_{i,i+1}^n = \sum_{i=1}^i F_v, \quad \text{siła w nakładce.} \quad (3.14)$$

gdzie:

$F_{v,i}$ siła przenoszona przez łącznik „i” z blachy na nakładkę.

W połączeniach, w których odległość między skrajnymi łącznikami jest większa niż $15d$ stosuje się redukcję nośności wszystkich łączników w połączeniu wyrażoną wzorem:

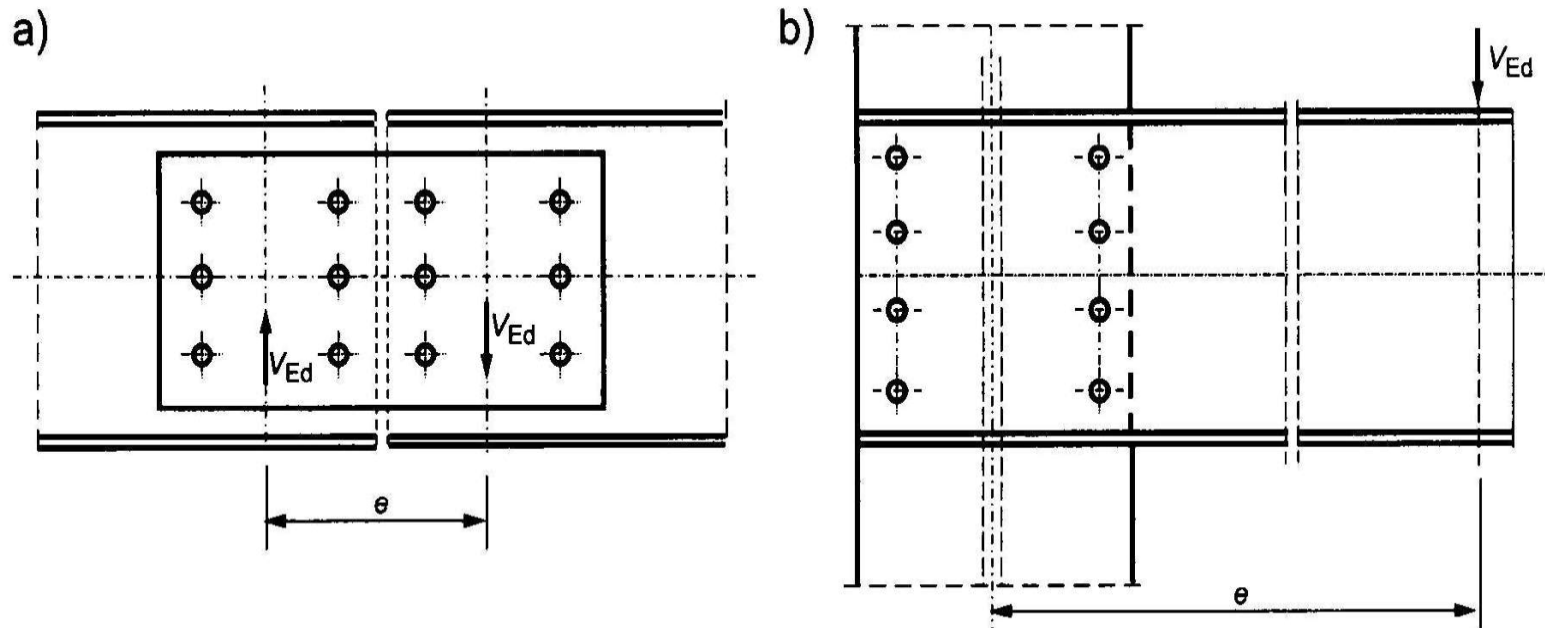
$$V_{Rd} = \beta_{Lf} \sum F_{Rd} \geq V_{Ed}, \quad (3.16)$$

gdzie:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d}, \text{ lecz } \beta_{Lf} \leq 1,0 \text{ oraz } \beta_{Lf} \geq 0,75,$$

L_j odległość między osiami skrajnych łączników w połączeniu.

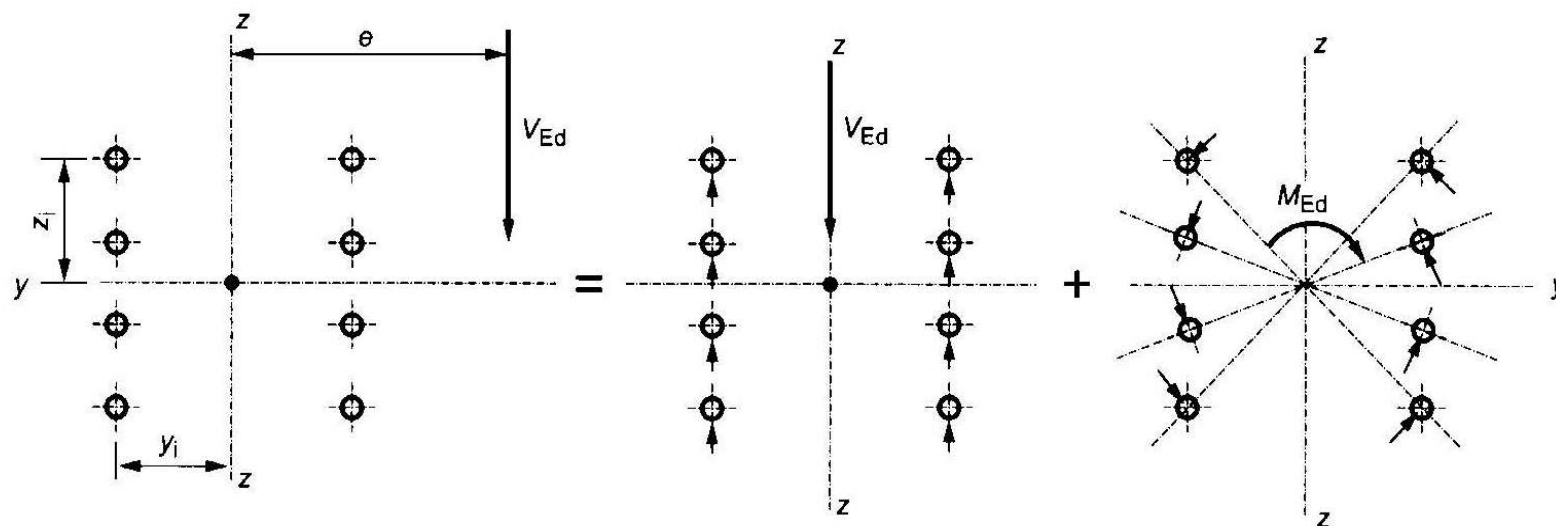
Wzór (3.16) nie odnosi się do przypadków, w których siła rozkłada się równomiernie na całej długości złącza, jak np. w przypadku siły ścinającej między środkiem a pasem kształtownika. Połączenia dłuższe niż $65d$ nie powinny być projektowane ze względu na zbyt duże zróżnicowanie wyężenia łączników skrajnych w stosunku do wartości średniej.

ROZKŁAD SIŁ W POŁĄCZENIACH OBCIĄŻONYCH MIMOŚRODOWO W PŁASZCZYZNIE STYKU

Rys 3.47 Połączenia zakładkowe sztywne w płaszczyźnie styku

Założenia tego modelu są następujące:

- części połączenia obracają się pod wpływem mimośrodowego obciążenia wokół środka obrotu znajdującego się w środku ciężkości grupy łączników przejmującej obciążenie,
- obciążenie każdego łącznika jest proporcjonalne do długości promienia obrotu i skierowane prostopadłe do tego promienia,
- stan graniczny nośności łączników w połączeniu określa obciążenie, przy którym siła wewnętrzna działająca na łącznik położony najdalej od środka obrotu osiąga jego nośność.



Rys. 3.45 Schemat rozkładu sił w połączeniu zakładkowym obciążonym mimośrodowo

Nośność przy ścinaniu pojedynczej śruby $F_{v,Rd}$ określona jest w Tablicy 3.4 normy PN-EN 1993-1-8:

$$F_{v,Rd} = n_v \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}},$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze (4.73).

Na grupę śrub z jednej strony styku (rys. 4.33b) działa siła pionowa V_{Ed} oraz moment zginający M_{Ed} . Przy założeniu sprężystego rozkładu sił na łączniki, wypadkowa obciążenia najbardziej wyężonego łącznika musi spełniać następujący warunek nośności:

$$F_{b,Ed} = \sqrt{\left(\frac{F_{b,Ed,ver}}{\beta_{Lf,ver}}\right)^2 + \left(\frac{F_{b,Ed,hor}}{\beta_{Lf,hor}}\right)^2} \leq F_{v,Rd},$$

gdzie:

$F_{b,Ed,ver}$, $F_{b,Ed,hor}$ – składowa obciążenia śruby odpowiednio pionowa i pozioma,

$\beta_{Lf,ver}$; $\beta_{Lf,hor}$ – współczynniki redukcyjne przy odległości osiowej L_j między skrajnymi łącznikami większej od $15d$ mierzonej odpowiednio w kierunku pionowym i poziomym. Wartość tych współczynników należy określać według wzoru (4.75), pamiętając o podstawieniu z odpowiednich kierunków odległości L_j .

Składowa pionowa obciążenia śruby $F_{b,Ed,ver}$ jest sumą sił:

$$F_{b,Ed,ver} = F_{b,V} + F_{b,M,ver}$$

gdzie $F_{b,V}$ jest składową od działania siły pionowej $V_{w,Ed}$:

$$F_{b,V} = \frac{V_{Ed}}{n}$$

zaś $F_{b,M,ver}$ jest składową pionową obciążenia śruby od działania momentu M_{Ed} , która wynosi:

$$F_{b,M,ver} = M_{Ed} \frac{x_{max}}{\sum z_i^2 + \sum x_i^2},$$

x_{max} jest poziomą odległością skrajnej śruby od środka ciężkości układu śrub, zaś z_i , x_i są odległościami, pionową i poziomą, i-tej śruby od środka ciężkości układu śrub z jednej strony styku.

Składowa pozioma obciążenia śruby od działania momentu M_{Ed} , wynosi:

$$F_{b,Ed,hor} = M_{Ed} \frac{z_{max}}{\sum z_i^2 + \sum x_i^2}.$$

Śruba podlega dociskowi do blach w połączeniu w kierunku wypadkowej, powstałej od sumowania obciążenia od siły pionowej i momentu zginającego. Siłę docisku rozłożyć można na składową pionową i poziomą odpowiednio $F_{b,Ed,ver}$, $F_{b,Ed,hor}$. Nośności obliczeniowe śrub na docisk mają różne wartości, w zależności od kierunku działania siły. Rozróżnić można nośność przykładki na docisk w kierunku poziomym $F_{b,Rd,hor}$ i nośność śruby na docisk w kierunku pionowym $F_{b,Rd,ver}$. Wobec takiego rozróżnienia można zastosować następujący warunek nośności interakcyjnej:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{b,Ed,ver}}{F_{b,Rd,ver}}\right)^2 + \left(\frac{F_{b,Ed,hor}}{F_{b,Rd,hor}}\right)^2} \leq 1,0$$

gdzie:

$F_{b,Ed,ver}$, $F_{b,Ed,hor}$ – składowe siły docisku odpowiednio pionowa i pozioma, obliczane według wzorów (4.88) i (4.91),

$F_{b,Rd,ver}$, $F_{b,Rd,hor}$ – nośność śrub na docisk w kierunku odpowiednio pionowym i poziomym.

Nośność śrub na docisk w kierunku pionowym, zgodnie z PN-EN 1993-1-8/Tablica 3.4 wynosi:

$$F_{b,Rd,ver} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot \sum t}{\gamma_{M2}},$$

gdzie: f_u – wytrzymałość stali przykładek lub średnika w zależności od przyjętej grubości t ,

d – średnica śruby,

$\sum t$ – minimalna sumaryczna grubość blach podlegająca dociskowi w tym samym kierunku.

$\sum t = \min(t_1; t_2)$; $t_1; t_2$ – grubości łączonych blach,

$\gamma_{M2} = 1,25$, zaś

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; \quad 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7; \quad 2,5\right),$$

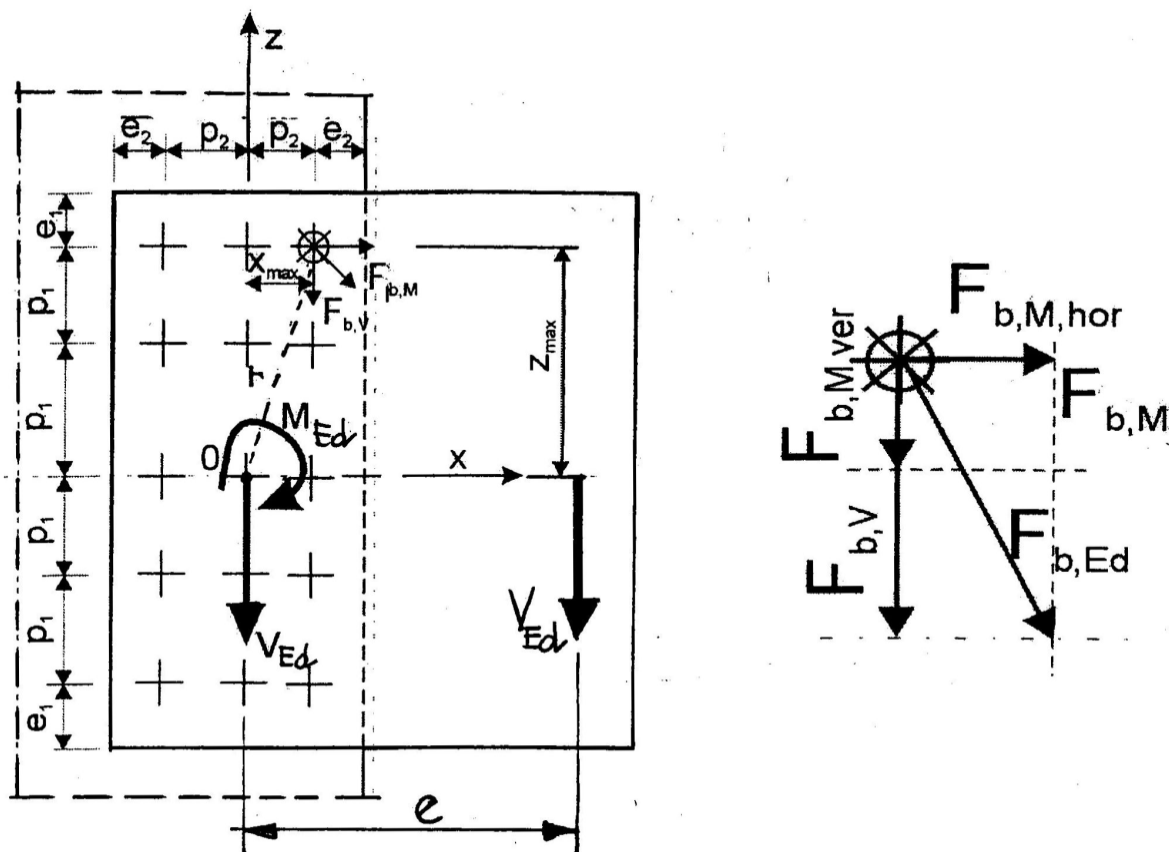
$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_o}; \quad \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \quad \frac{f_{ub}}{f_u}; \quad 1,0\right),$$

gdzie: e_1, e_2 – odległość od osi skrajnego otworu do brzegu łączonych blach, odpowiednio w kierunku pionowym i poziomym (por. rys. 4.35

p_1, p_2 – pionowa i pozioma podziałka śrub – rys. 4.35, (w wypadku połączeń z jednym rzędem śrub $p_2 = 0$),

d_0 – średnica otworu na śrubę,

f_{ub} – wytrzymałość stali śruby na rozciąganie.



Rys. 4.35. Rozkład sił w śrubach od obciążenia momentem zginającym i siłą pionową

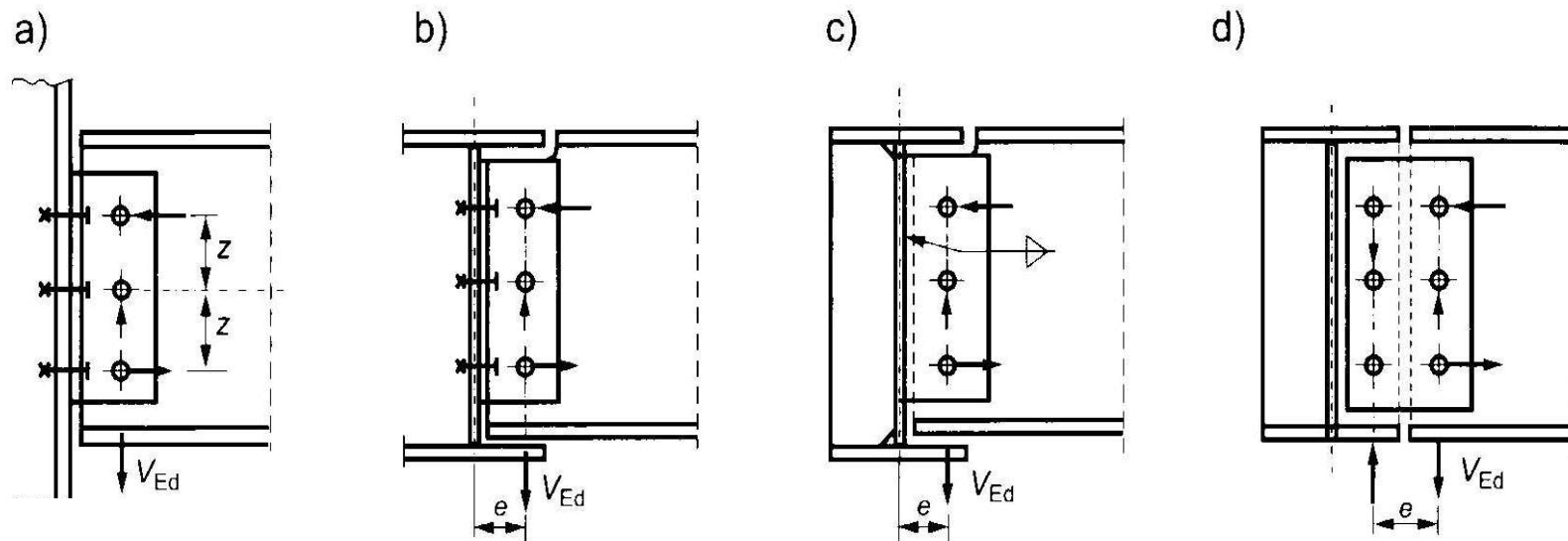
Nośność na docisk w kierunku poziomym wynosi:

$$F_{b,Rd,hor} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \sum t}{\gamma_{M2}},$$

gdzie:

$$k_1 = \min \left(2,8 \frac{e_1}{d_o} - 1,7; \quad 1,4 \frac{p_1}{d_o} - 1,7; \quad 2,5 \right),$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_2}{3d_o}; \quad \frac{p_2}{3d_o} - \frac{1}{4}; \quad \frac{f_{ub}}{f_u}; \quad 1,0 \right).$$

ROZKŁAD SIŁ W POŁĄCZENIACH NOMINALNIE PRZEGUBOWYCH OBCIĄŻONYCH MIMOŚRÓDOWO

Połączenia zakładkowe belek nominalnie przegubowe (quasiprzegubowe)

śruby. Najprostsze jest założenie, że nośność obliczeniową na zginanie M_{Rd} wyznaczają tylko łączniki skrajne na ramieniu y_{\max} , a nośność obliczeniową na ścinanie V_{Rd} pozostałe łączniki.

$$M_{Rd} = \sum_1^{n_M} F_{Rd} y_{\max} \geq M_{Ed}, \quad (3.21)$$

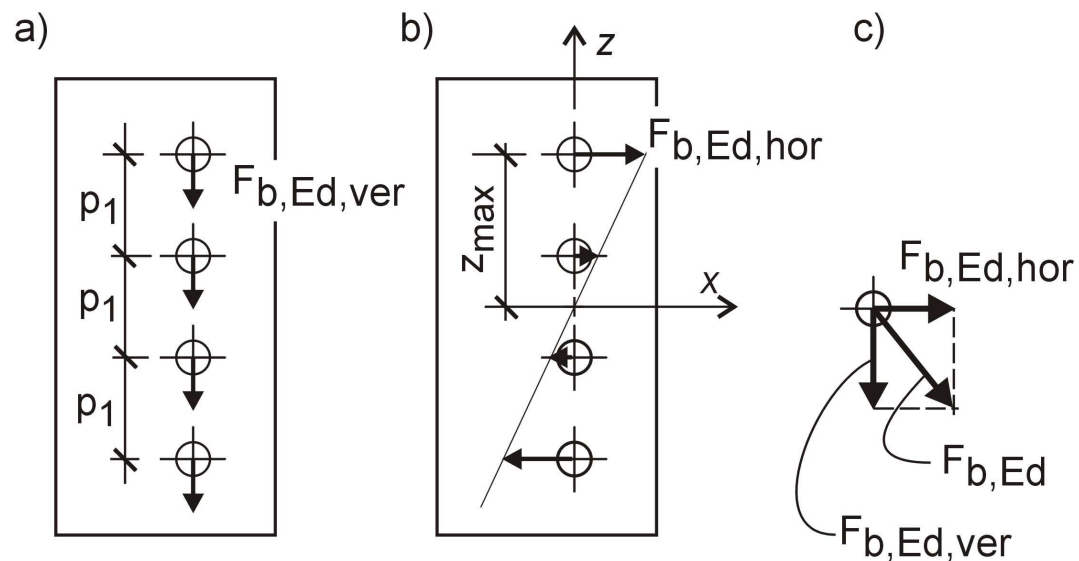
$$V_{Rd} = \sum_1^{n_V} F_{Rd} \geq M_{Ed},$$

gdzie:

n_M liczba łączników na ramieniu y_{\max} przenoszących tylko moment,

n_V liczba łączników pozostałych przenoszących tylko siłę poprzeczną.

W przypadku **połączenia z jednym rzędem śrub**, całkowita liczba śrub jest równa liczbie poziomych szeregów śrub, tj. $n = n_1$.



Rozkład sił w układzie z jednym szeregiem śrub; a) od reakcji pionowej V_{Ed} , b) od momentu M_{Ed} ; c) wypadkowa obciążenia skrajnej śruby

Składowa pionowa obciążenia śruby wynosi:

$$F_{b,Ed,ver} = \frac{V_{Ed}}{n}$$

Składowa pozioma obciążenia skrajnej śruby wynosi:

$$F_{b,Ed,hor} = M_{Ed} \frac{z_{\max}}{\sum z_i^2} = V_{Ed} \cdot e \cdot \frac{z_{\max}}{\sum z_i^2}$$

gdzie z_{\max} jest pionową odległością skrajnej śruby od środka ciężkości układu śrub:

$$z_{\max} = \frac{(n_1 - 1) \cdot p_1}{2}$$

zaś z_i jest odległością pionową i-tej śruby od środka ciężkości układu śrub. Można zauważyć, że

$$\sum z_i^2 = \frac{1}{12} n_1 (n_1^2 - 1) \cdot p_1^2$$

Po podstawieniu powyższych zależności i po przekształceniach otrzymujemy:

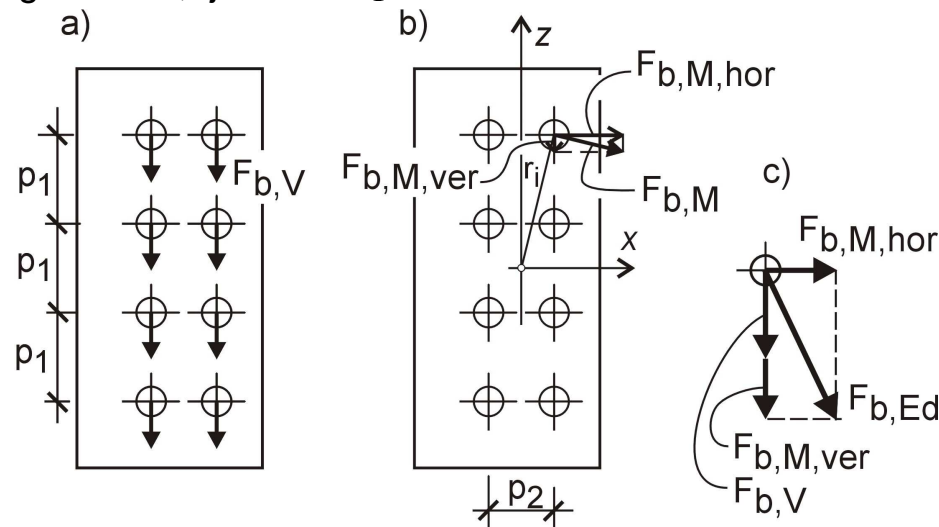
$$V_{Rd,1} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$$

gdzie $V_{Rd,1}$ jest nośnością układu śrub (największą możliwą do przejęcia reakcją pionową z belki drugorzędnej V_{Ed}), n jest liczbą śrub w połączeniu, zaś α i β współczynnikami o wartości:

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{6x}{n(n+1)p_1}$$

W przypadku **połączenia z dwoma rzędami śrub**, całkowita liczba śrub jest równa podwojonej liczbie poziomych szeregów śrub, tj. $n = 2n_1$.



Rys. 3.21 Rozkład sił w układzie z dwoma szeregami śrub; a) od reakcji pionowej V_{Ed} , b) od momentu M_{Ed} ; c) wypadkowa obciążenia skrajnej śruby

Składowa pionowa obciążenia śruby $F_{b,Ed,ver}$ jest sumą sił:

$$F_{b,Ed,ver} = F_{b,V} + F_{b,M,ver}$$

gdzie $F_{b,V}$ jest składową od działania reakcji pionowej belki drugorzędnej:

$$F_{b,V} = \frac{V_{Ed}}{n}$$

zaś $F_{b,M,ver}$ jest składową pionową obciążenia śruby od działania momentu M_{Ed} , która wynosi:

$$F_{b,M,ver} = M_{Ed} \frac{x_{\max}}{\sum z_i^2 + \sum x_i^2}$$

x_{\max} jest poziomą odległością skrajnej śruby od środka ciężkości układu śrub, zaś z_i , x_i są odległościami, pionową i poziomą, i-tej śruby od środka ciężkości układu śrub. Można zauważyć, że

$$x_{\max} = p_2 / 2 \text{ oraz}$$

$$\sum z_i^2 + \sum x_i^2 = \frac{1}{6} n_1 (n_1^2 - 1) p_1^2 + \frac{n_1 p_2^2}{2}$$

Składowa pozioma obciążenia śruby od działania momentu M_{Ed} , wynosi:

$$F_{b,Ed,hor} = M_{Ed} \frac{z_{\max}}{\sum z_i^2 + \sum x_i^2}$$

Po podstawieniach i przekształceniach, otrzymuje się zależność:

$$V_{\text{Rd},1} = \frac{n F_{\text{v,Rd}}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$$

gdzie, w tym wypadku współczynniki α oraz β przyjmują inne wartości:

$$\alpha = \frac{x p_2}{2I}$$

$$\beta = \frac{x p_1}{2I} (n_1 - 1)$$

$$I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{1}{6} n_1 (n_1^2 - 1) p_1^2$$

NOŚNOŚĆ PRZEKROJU OSŁABIONEGO OTWORAMI

Przekrój netto przy rozciąganiu A_{net} oblicza się potrącając z przekroju brutto wszelkie otwory. W przypadku elementów ściskanych od przekroju brutto odejmuje się tylko otwory powiększone okrągłe lub owalne oraz inne otwory nie wypełnione łącznikami. Przy obliczaniu cech przekroju netto ubytek związany z każdym otworem przyjmuje się jako równy przekrojowi otworu w płaszczyźnie jego osi. Odpowiednio zwiększony ubytek uwzględnia się w przypadku otworów na łączniki z łbem wpuszczanym. Pole przekroju do potrącenia określa się jako sumę pól przekrojów otworów występujących w dowolnym potencjalnym przekroju zniszczenia, np. przekrój (1) lub (2) na rys. 3.60. Minimalne pole przekroju netto określa położenie linii krytycznej ze względu na rozerwanie przekroju.

W przypadku otworów przedstawionych jako sumaryczne pole przekroju do potrącenia przyjmuje się większą z poniższych wartości:

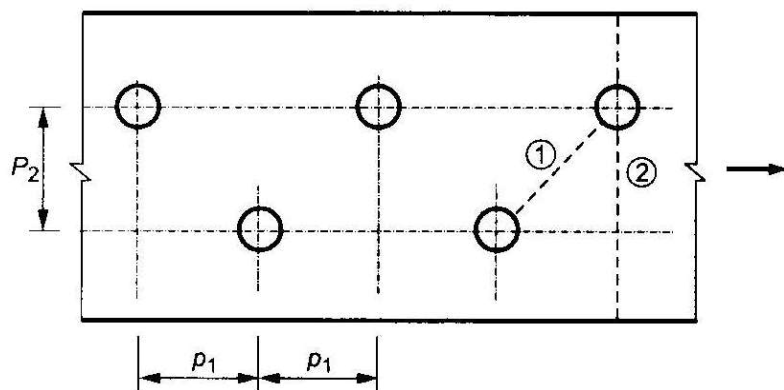
a) $t n d$ – w przekroju prostopadłym do kierunku działania siły, (3.23a)

b) $t \left(n d_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right)$ – w przekroju ukośnym lub zygzakowatym, (3.23b)

gdzie:

s wzajemne przesunięcie otworów w układzie
przestawionym wzdłuż osi elementu,
 p_2 osiowy rozstaw otworów w kierunku
prostopadłym do osi elementu,
 t grubość,

n liczba otworów wzdłuż jakiejkolwiek linii ukośnej lub
zygzakowatej, poprowadzonej w poprzek elementu lub
jego części (patrz rys. 3.60),
 d_0 średnica otworu.

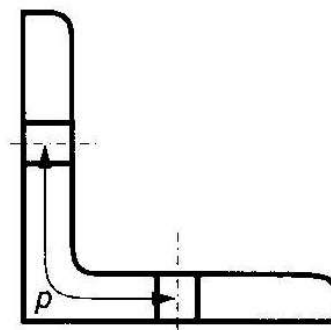


Rys. 3.60 Otwory w układzie przestawionym – linie krytyczne 1 i 2

W przypadku kątowników lub innych elementów z otworami, występującymi w więcej niż jednej ściance, rozstaw p mierzy się wzdłuż linii środkowej ścianek (patrz rys. 3.61).

Obliczeniową nośność na rozciąganie przekroju netto z otworami na łączniki oblicza się ze wzoru:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.24)$$

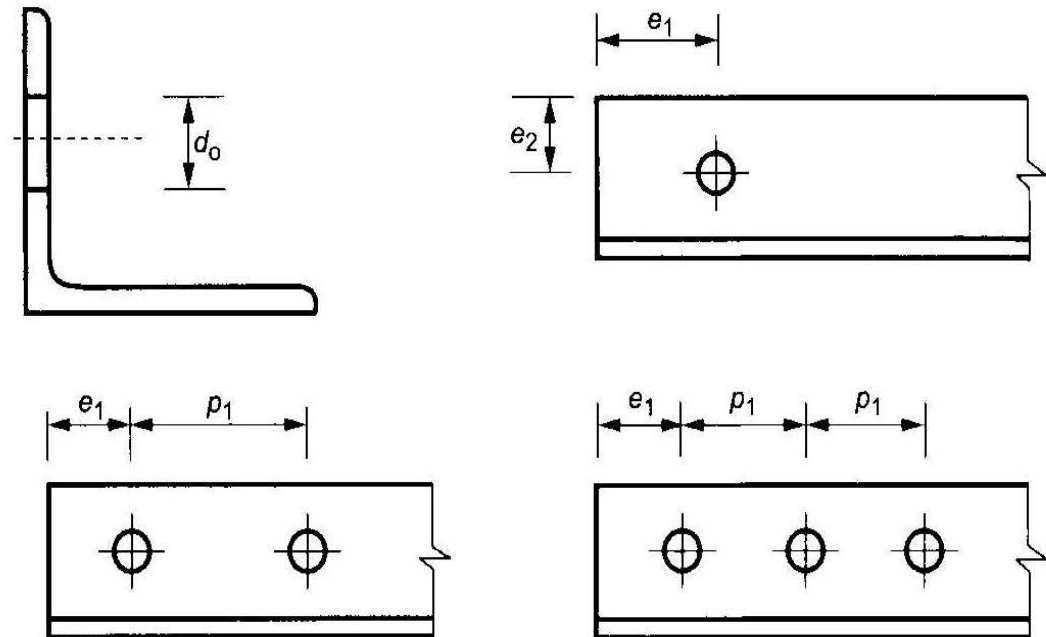


Rys. 3.61 Kątownik z otworami w obu ramionach

KĄTOWNIKI POŁĄCZONE JEDNYM RANIENIEM

Tablica 3.23 Współczynniki redukcyjne
 β_2 i β_3 [1.22]

Rozstaw	p_1	$\leq 2,5 d_o$
2 śruby	β_2	0,4
3 śruby lub więcej	β_3	0,5



Rys. 3.66 Kątowniki łączone jednym ramieniem na jedną, dwie lub trzy śruby

Pojedynczy rozciągany kątownik, połączony szeregiem śrub na jednym ramieniu (rys. 3.66), może być traktowany jako obciążony osiowo pod warunkiem, że jego nośność obliczeniowa zostanie określona wzorami:

przy jednej śrubie:
$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)tf_u}{\gamma_{M2}}, \quad (3.30)$$

przy dwóch śrubach:
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (3.31)$$

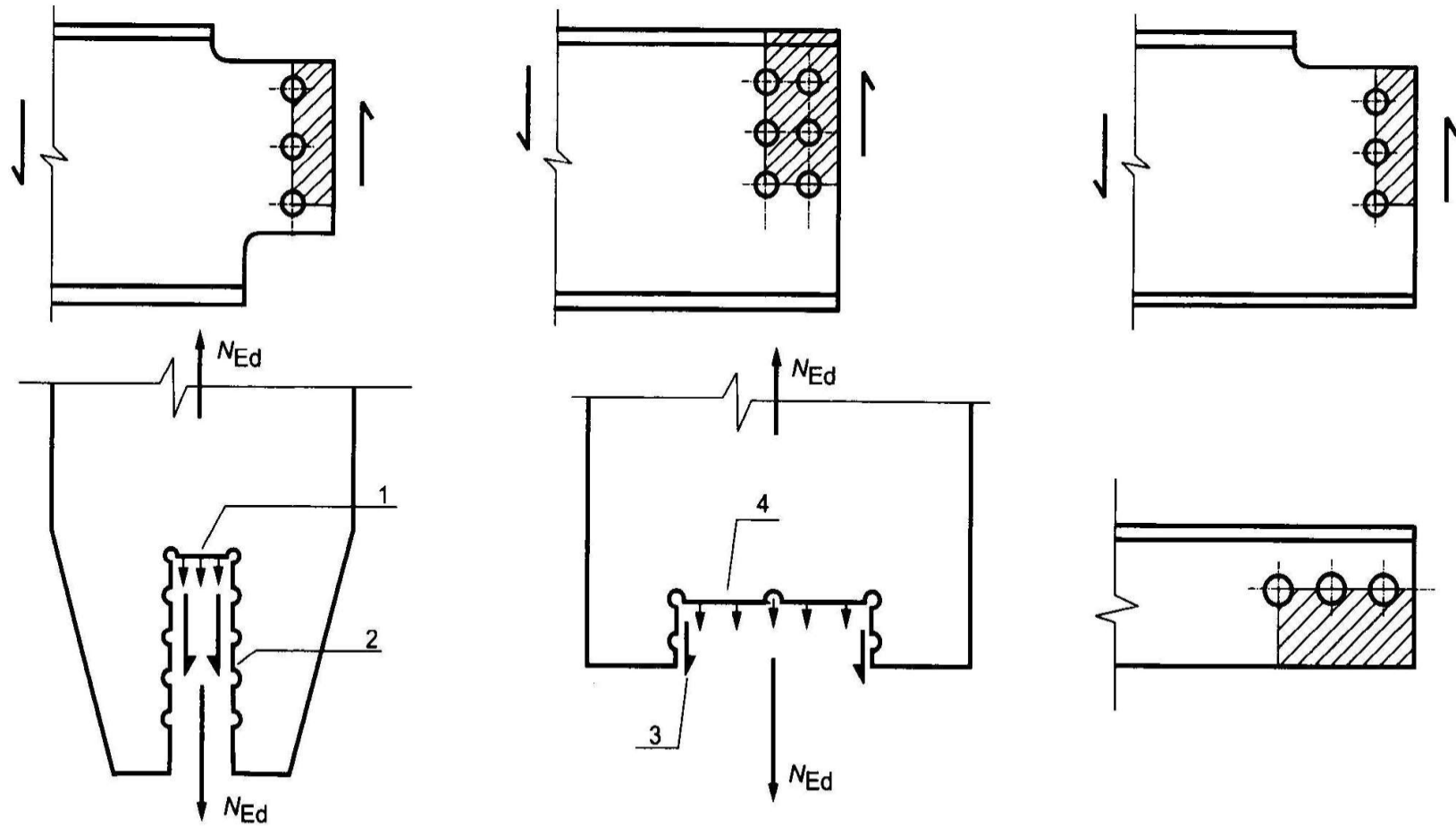
przy trzech lub większej liczbie śrub:
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (3.32)$$

gdzie:

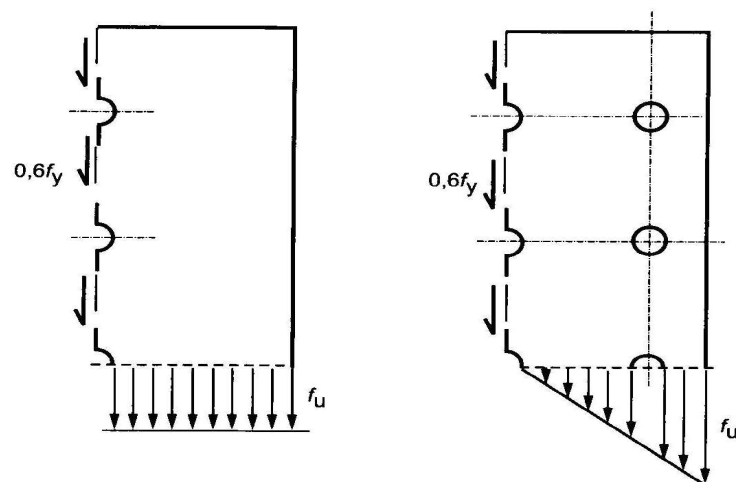
β_2 i β_3 współczynniki redukcyjne zależne od rozstawu p_1 według tablicy 3.23; przy pośrednich wartościach p_1 wartość β można interpolować liniowo,

A_{net} pole przekroju netto kątownika; dla kątowników nierównoramiennych łączonych węższym ramieniem, A_{net} przyjmuje się równe polu przekroju netto zastępczego kątownika o szerokości obu ramion równej szerokości ramienia węższego.

ROZERWANIE BLOKOWE



Rys. 3.62 Rozerwanie blokowe: 1- mała siła rozciągająca, 2 - duża siła ścinająca, 3 - mała siła ścinająca, 4 - duża siła rozciągająca



Rys. 3.63 Rozkłady naprężeń w przekrojach rozrywanych blokowo

W przypadku symetrycznej grupy śrub obciążonej osiowo, patrz rys. 3.63 obliczeniowa nośność na rozerwanie blokowe $V_{eff,1,Rd}$ jest określona wzorem:

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{net} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}, \quad (3.28)$$

gdzie:

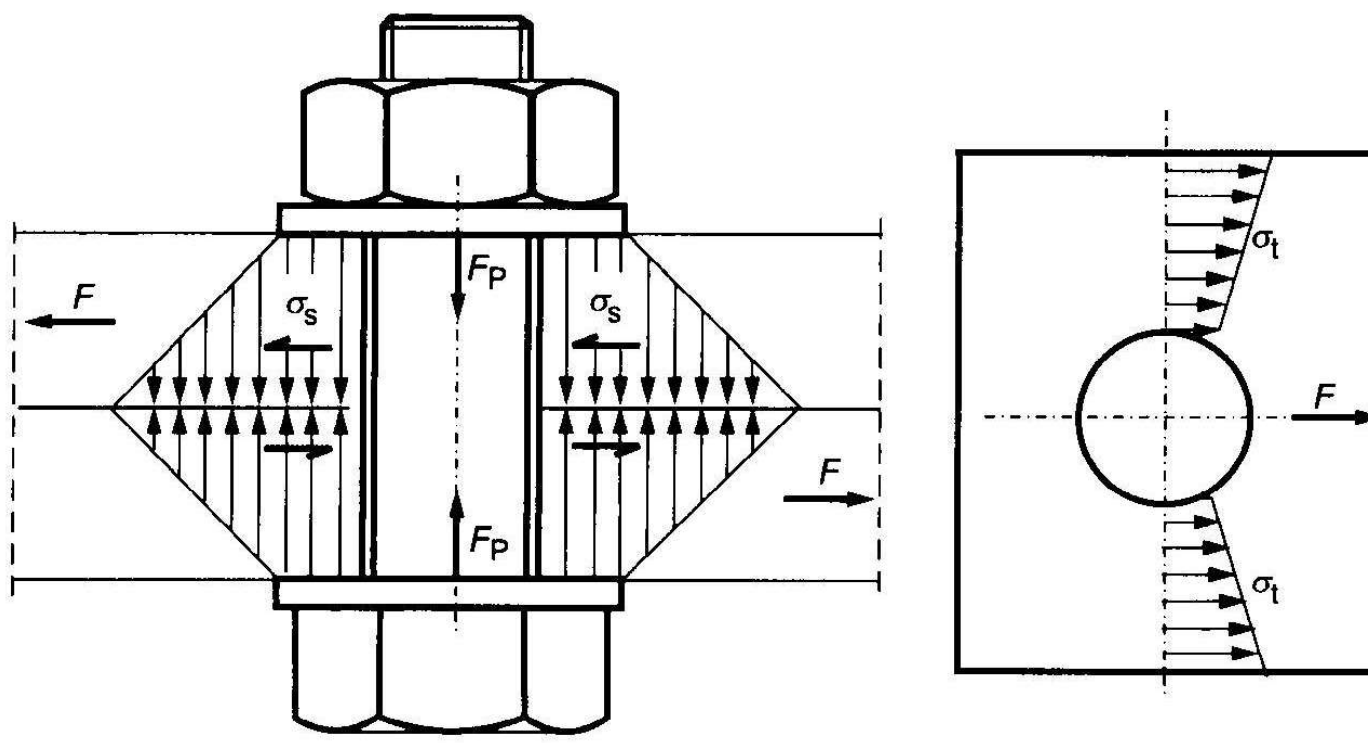
A_{net} przekrój netto rozciągany,

A_{nv} przekrój netto ścinany.

W przypadku grupy śrub obciążonej mimośrodowo, obliczeniowa nośność na rozerwanie blokowe $V_{eff,2,Rd}$ jest określona wzorem:

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5f_u A_{net} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}. \quad (3.29)$$

POŁĄCZENIA CIERNE



Rys 3.70 Schemat przekazywania sił w połączeniu ciernym

3.9.3 Nośność obliczeniowa na poślizg

Obliczeniową nośność na poślizg śrub klasy 8.8 lub 10.9 oblicza się ze wzoru:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}, \quad (3.43)$$

gdzie:

k_s według tablicy 3.27,
 n liczba styków ciernych,

μ współczynnik tarcia według tablicy 3.26 lub określony eksperymentalnie,
 $\gamma_{M3} = 1,25$.

Obliczeniowa siła sprężenia $F_{p,C}$ połączeń ciernych w śrubach klasy 8.8, 10.9 jest określona tak samo jak siła do procesu sprężania według wzoru (3.3):

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s. \quad (3.44)$$

Tablica 3.27 Wartości współczynników k_s [1.22]

Opis	k_s
Śruby w otworach normalnych.	1,0
Śruby w otworach powiększonych lub owalnych krótkich, wydłużonych prostopadle do kierunku obciążenia.	0,85
Śruby w otworach owalnych długich, wydłużonych prostopadle do kierunku obciążenia.	0,7
Śruby w otworach owalnych krótkich, wydłużonych równolegle do kierunku obciążenia.	0,76
Śruby w otworach owalnych długich, wydłużonych równolegle do kierunku obciążenia.	0,63

Tablica 3.26 Współczynniki tarcia, μ w połączeniach ciernych [1.22]

Klasa powierzchni cierniej	Najmniejszy współczynnik tarcia μ	Sposób obróbki powierzchni
A	0,50	– śrutowanie lub piaskowanie bez śladów rdzy i wżerów
		– śrutowanie lub piaskowanie i metalizowanie natryskowe aluminium
		– śrutowanie lub piaskowanie i metalizowanie natryskowe produktem cynkowym, potwierdzone badaniami.
B	0,40	– śrutowanie lub piaskowanie i malowanie farbą krzemianową alkaliczno-cynkową o grubości od 0,50 μm do 0,80 μm
C	0,30	– oczyszczenie szczotką drucianą lub opalanie bez śladów rdzy
D	0,20	– bez obróbki

Siłę obliczeniową, działającą w najbardziej wyężonym przekroju netto A_{net} połączenia ciernego, można wyznaczyć ze wzoru:

$$N_{ot,Ed} = N_{t,Ed} \left(1 - \frac{n_r}{n} - 0,4 \frac{n_\alpha}{n} \right), \quad (3.48)$$

gdzie:

n liczba śrub w połączeniu (z jednej strony styku),

n_α liczba śrub w sprawdzanym przekroju,

n_r liczba śrub położonych przed sprawdzanym przekrojem w kierunku działania siły,

$N_{t,Ed}$ siła obliczeniowa działająca na połączenie.

PROCEDURA SPRAWDZANIA NOŚNOŚCI POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH ZAKŁADKOWYCH

Kolejne kroki	Objaśnienia
1	2
Sprawdzenie warunków konstrukcyjnych połączenia śrubowego oraz określenie jego kategorii	Sprawdzenie warunków konstrukcyjnych polega na ustaleniu poprawności rozstawu śrub według tab. 3.3 [54] oraz sprawdzeniu, czy nie zachodzą przypadki szczególne zawarte w pkt 3.6.1 normy [54].
Sprowadzenie obciążeń do środka ciężkości układu śrub	Środek ciężkości układu śrub wyznacza się z warunków ogólnych, przy czym w przypadku połączenia z zastosowaniem różnych rodzajów śrub (stosowanie takich połączeń nie jest wskazane, patrz pkt 2.4(3) normy [54]) należy uwzględnić ich nośności.

Obliczanie nośności grupy łączników, obciążonych osiowo względem środka ciężkości

Gdy nośność na ścinanie każdej śruby nie jest mniejsza od jej nośności na docisk:

$$F_{v,Rd} = \sum_1^{n_b} F_{b,Rd,i} \quad (9.36a)$$

W przeciwnym wypadku:

$$F_{v,Rd} = n_b F_{Rd,min} \quad (9.36b)$$

Wymaganą, ze wzorów (9.15)÷(9.21) – w zależności od kategorii połączenia, nośność łącznika należy obliczyć ze wzorów podanych w procedurze 9.3.

Nośność grupy łączników określa się jako sumę nośności obliczeniowych pojedynczych łączników na docisk $F_{b,Rd,i}$, gdy nośność obliczeniowa na ścinanie $F_{v,Rd,i}$ każdego łącznika nie jest mniejsza od jego nośności obliczeniowej na docisk. Gdy warunek ten nie jest spełniony, wówczas obliczeniową nośność grupy łączników oblicza się jako iloczyn liczby łączników i najmniejszej nośności obliczeniowej łącznika w grupie.

n_b – liczba śrub przenoszących obciążenie

$F_{Rd,min}$ – minimalna nośność śruby na ścinanie lub docisk

Obliczanie nośności grupy łączników obciążonych mimośrodowo względem środka ciężkości

Rozdzielenie sił na poszczególne łączniki

- Obciążenie siłą

$$F_{i,F,Ed} = \frac{F_{Ed}}{n} \quad (9.37)$$

F_{Ed} – siła ścinająca obciążająca układ śrub

M_{Ed} – moment obciążający układ śrub sprowadzony do środka ciężkości tego układu

n – liczba śrub przenosząca obciążenie

r_1 – odległość rozpatrywanej śruby od środka układu śrub

1	2
<p>▪ Obciążenie momentem</p> $F_{i,M,Ed} = M_{Ed} \frac{r_i}{\sum r_i^2} \quad (9.38)$ <p>Wypadkowa siła przypadająca na łącznik w połączeniu zakładkowym obciążonym siłą i momentem:</p> $F_{i,Ed} = \sqrt{(F_{i,M,H} + F_{i,F,H})^2 + (F_{i,M,V} + F_{i,F,V})^2} \quad (9.39)$	<p>$\sum r_i^2$ – suma kwadratów odległości wszystkich śrub od środka układu śrub</p> <p>Norma [54] nie podaje wzoru sprawdzenia nośności połączeń zakładkowych obciążonych siłą i momentem. W punkcie 3.12 wspomniano jedynie, że w takim przypadku można stosować sprężysty lub plastyczny rozkład sił na poszczególne łączniki, gdzie: $F_{i,Ed}$ – wypadkowa siła na i-ty łącznik, $F_{i,M,H}$, $F_{i,M,V}$ – składowe siły od działania momentu M_{Ed} na łącznik, obliczone ze wzoru (9.38), rozłożone na kierunki równoległy i prostopadły do brzegu blachy, $F_{i,F,H}$, $F_{i,F,V}$ – składowe siły w łączniku od działania siły F_{Ed}, obliczone ze wzoru (9.37), rozłożone na kierunki równoległy i prostopadły do brzegu blachy.</p>

Warunki dodatkowe

Uwzględnienie wymiarów połączenia

- Złącza długie

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (9.40)$$

$$0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0$$

- Złącza na jedną śrubę

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \gamma_{M2} \quad (9.41)$$

W przypadku połączeń zakładkowych, w których odległość między skrajnymi łącznikami jest większa niż 15d (rys. 9.17), ze względu na nierównomierny rozkład sił na poszczególne śruby nośność na ścinanie wszystkich łączników należy zredukować, stosując współczynnik β_{Lf} .

W połączeniach na jedną śrubę (jeden szereg śrub), nośność na docisk oblicza się ze wzoru (9.41).

L_j – odległość między skrajnymi śrubami w połączeniu w kierunku obciążenia

d – średnica śruby

f_u – wytrzymałość na rozciąganie słabszej z łączonych części,

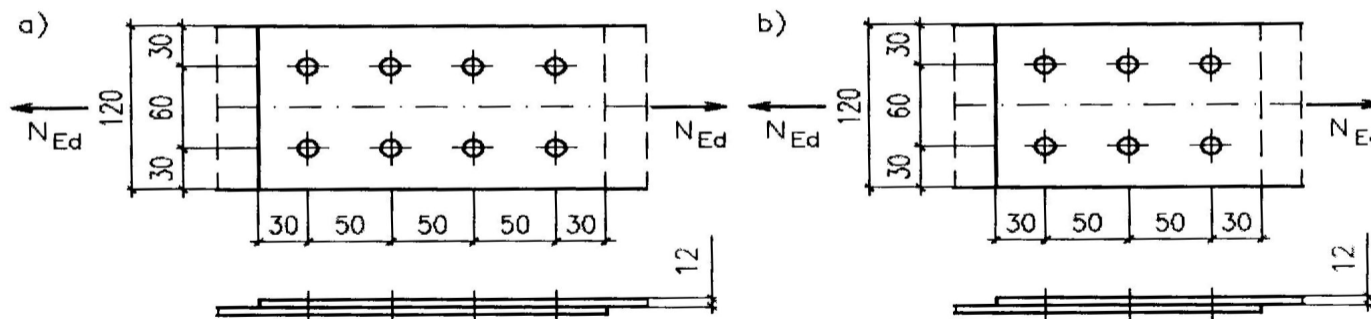
t – grubość łączonej blachy

γ_{M2} – współczynnik bezpieczeństwa przyjmowany jako 1,25

Sprawdzenie nośności łącznika	Sprawdzenie według wzorów (9.15)÷(9.21)
Sprawdzenie nośności elementów łączonych	<p>Warunki nośności elementów sprawdza się ze wzorów (9.31), (9.32). Obliczenia nośności elementów rozciąganych zostały przedstawione w pkt 5.5.</p> <p>Dodatkowo, w przypadku grupy śrub umiejscowionej w pobliżu brzegu blachy lub zakończenia kształtownika należy sprawdzić przekrój ze względu na rozerwanie blokowe (rys. 9.18).</p>

PRZYKŁAD NR 1

Zaprojektować styk na śruby rozciąganego płaskownika 120x12 ze stali S235, na pełną nośność elementu. Połączenie należy zaprojektować jako dociskowe, jednocięte na śruby M16 i M20 klasy 5.8.



Rys. 4.4.7. Sтык płaskownika w połączeniu jednociętym, dociskowym,

Dane:

- stal S 235, z tabl. 3.1 w [1] – wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ MPa, granica plastyczności $f_y = 235$ MPa,
- śruby: z tabl. 3.1 w [2] wytrzymałość śrub klasy 5.8 na rozciąganie $f_{ub} = 500$ MPa, z tabl. 3.4 w [2] $\alpha_v = 0,6$ – płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część śruby, pole powierzchni: $A_{M16} = 2,01 \text{ cm}^2$, $A_{M20} = 3,14 \text{ cm}^2$,
- średnice otworów: dla M16 – $d_o = 18$ mm, dla M20 – $d_o = 22$ mm,
- współczynnik częściowy dla śrub, wg pkt. 2.2(2) w [2], $\gamma_{M2} = 1,25$,
- współczynnik częściowy dla blachy w przekroju netto, wg. [1] $\gamma_{M2} = \min(1,1; 0,9 f_u / f_y)$.

Nośność blach w przekroju osłabionym:

- pole przekroju netto dla śrub M16 i M20

$$A_{net,M16} = (12,0 - 2 \cdot 1,8) \cdot 1,2 = 10,08 \text{ cm}^2,$$

$$A_{net,M20} = (12,0 - 2 \cdot 2,2) \cdot 1,2 = 9,12 \text{ cm}^2,$$

- współczynnik częściowy wg poprawki N14 w [1]

$$\gamma_{M2} = \min(1,1; 0,9 f_u / f_y) = \min(1,1; 0,9 \cdot 360 / 235) = 1,1,$$

- obliczeniowa nośność graniczna blach, dla śrub M16 i M20

$$N_{t,Rd,M16} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 10,08 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,1} = 296,9 \text{ kN},$$

$$N_{t,Rd,M20} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 9,12 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,1} = 268,6 \text{ kN}.$$

Nośność śrub na ścinanie:

- śruby M16

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 2,01 \cdot 10^{-4}}{1,25} = 48,24 \text{ kN},$$

- śruby M20

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{1,25} = 75,36 \text{ kN.}$$

Nośność śrub M16 na docisk:

- śruby skrajne

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{c} \alpha_d = \frac{e_1}{3d_o} \\ f_{ub}/f_u \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,556 \\ \frac{500}{360} = 1,389 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,556,$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{30}{18} - 1,7 = 2,967 \\ 1,4 \frac{60}{18} - 1,7 = 2,967 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5,$$

$$F_{b,Rd,s} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,556 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 0,012}{1,25} = 76,86 \text{ kN,}$$

- śruby pośrednie

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4} \\ f_{ub}/f_u \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 0,676 \\ \frac{500}{360} = 1,389 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,676,$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \frac{60}{18} - 1,7 = 2,967 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5,$$

$$F_{b,Rd,p} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,676 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 0,012}{1,25} = 93,45 \text{ kN}.$$

Z uwagi na to, że nośność obliczeniowa na ścinanie $F_{v,Rd} = 48,24 \text{ kN}$, jest mniejsza od nośności obliczeniowej na docisk, to obliczeniową nośność grupy łączników określa się jako iloczyn liczby łączników i najmniejszej nośności obliczeniowej łącznika w grupie

$$F_{\min,Rd} = F_{v,Rd} = 48,24 \text{ kN}.$$

Potrzebna liczba łączników

$$n \geq \frac{N_{t,Rd,M16}}{F_{\min,Rd}} = \frac{296,9}{48,24} = 6,15 \text{ szt.}$$

Przyjęto 8 śrub M16-5.8.

Nośność śrub M20 na docisk:

- śruby skrajne

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{c} \alpha_d = \frac{e_1}{3d_o} \\ f_{ub}/f_u \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} \frac{30}{3 \cdot 22} = 0,455 \\ \frac{500}{360} = 1,389 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,455,$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{30}{22} - 1,7 = 2,118 \\ 1,4 \frac{60}{22} - 1,7 = 2,118 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,118,$$

$$F_{b,Rd,s} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,118 \cdot 0,455 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,020 \cdot 0,012}{1,25} = 66,61 \text{ kN},$$

- śruby pośrednie

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4} \\ f_{ub}/f_u \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{50}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,508 \\ \frac{500}{360} = 1,389 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,508,$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \frac{60}{22} - 1,7 = 2,118 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,118,$$

$$F_{b,Rd,p} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,118 \cdot 0,508 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,020 \cdot 0,012}{1,25} = 74,37 \text{ kN}.$$

Przy jednakowym rozmieszczenia śrub, obliczeniowa nośność śrub M20 na docisk okazała się mniejsza od nośności śrub M16. Wynika to z mniejszej nośności blach w przekrojach osłabionych na rozerwanie i ścinanie.

Uwzględniając, że nośność obliczeniowa śruby na ścinanie ($F_{v,Rd} = 75,36 \text{ kN}$) dla każdego łącznika jest większa od nośności obliczeniowej na docisk ($F_{b,Rd,s} = 66,61 \text{ kN}$ i $F_{b,Rd,p} = 74,37 \text{ kN}$) to nośność połączenia oblicza się jako sumę nośności pojedynczych łączników na docisk.

Sumaryczna nośność skrajnych łączników na docisk

$$\sum_{i=1}^4 R_{b,Rd,s} = 4 \cdot 66,61 = 266,44 \text{ kN} < N_{t,Rd,M20} = 268,6 \text{ kN}$$

jest mniejsza od nośności blach w przekroju netto.

Przyjęto zatem 6 śrub M20-5.8.

Nośność połączenia

$$\sum_{i=1}^4 R_{b,Rd,s} + \sum_{i=1}^2 R_{b,Rd,p} = 4 \cdot 66,61 + 2 \cdot 74,37 = 415,18 \text{ kN} < N_{t,Rd,M20} = 268,6 \text{ kN}.$$

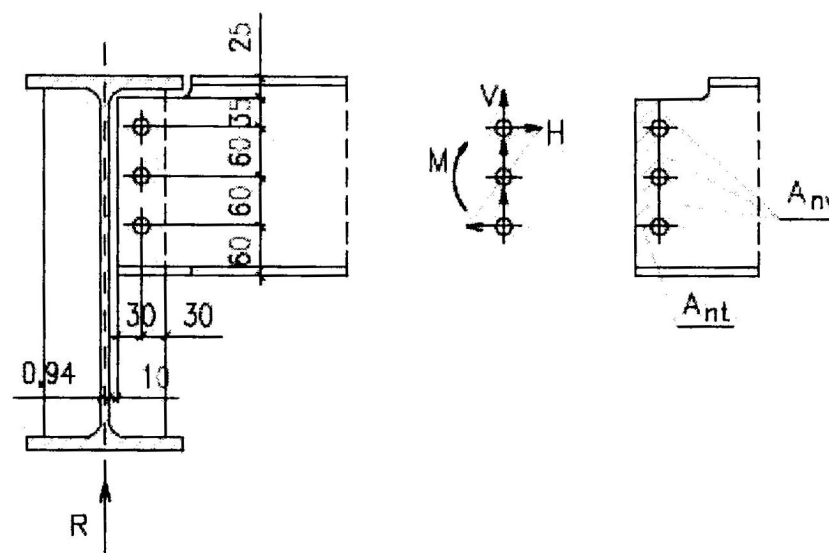
PRZYKŁAD NR2

Sprawdzić nośność połączenia belki stropowej IPE 240 z podciągami IPE 450 dla obciążenia $R = 75$ kN, przy założeniu, że płaszczyzna ścinana nie przechodzi przez część gwintowaną śruby.

Dane:

- stal S 235, z tabl. 3.1 w [1] – wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 360$ MPa, granica plastyczności $f_y = 235$ MPa,
- śruba M16-4.8: z tabl. 3.1 w [2] wytrzymałość śruby na rozciąganie $f_{ub} = 400$ MPa, z tabl. 3.4 w [2] $\alpha_v = 0,6$ – płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część śruby, pole powierzchni przekroju czynnego śruby: $A = 2,01$ cm²,
- grubość środnika belki: $t_w = 6,2$ mm,

- grubość żeberka w podciagu: $t = 7$ mm,
- współczynnik częściowy dla śrub wg pkt. 2.2(2) w [2], $\gamma_{M2} = 1,25$,
- współczynniki częściowe dla elementów i przekrojów: wg poprawki NA. 14 w [1]
 $\gamma_{M0} = 1,0$, $\gamma_{M2} = \min(1,1; 0,9 f_u / f_y) = \min(1,1; 0,9 \cdot 360 / 235) = 1,1$.



Rys. 4.4.10. Połączenie belki z podciągim

Obliczeniowa nośność śrub na ścinanie:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 2,01 \cdot 10^{-4}}{1,25} = 38,59 \text{ kN}.$$

Obliczeniowa nośność śrub M16 na docisk:

- śruby skrajne

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{c} \alpha_d = \frac{e_1}{3d_o} \\ f_{ub}/f_u \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} \frac{35}{3 \cdot 18} = 0,648 \\ \frac{400}{360} = 1,111 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,648,$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{30}{18} - 1,7 = 2,967 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5,$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,648 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 0,0062}{1,25} = 46,28 \text{ kN},$$

- śruby pośrednie

$$k_1 = 2,5,$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \alpha_d = \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4} \\ f_{ub}/f_u \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{60}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 0,861 \\ \frac{400}{360} = 1,111 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,861,$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,861 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 0,0062}{1,25} = 61,50 \text{ kN}.$$

Nośność śrub na ścinanie jest mniejsza od nośności śrub na docisk. Można zatem korzystać z liniowo-sprężystego modelu do wyznaczenia sił działających na śruby.

Moment w połączeniu

$$M = R \cdot e = 75 \cdot \left(\frac{0,0094}{2} + 0,01 + 0,03 \right) = 3,353 \text{ kNm}.$$

Składowe siły działającej na skrajne śruby:

$$V_{Ed} = \frac{75}{3} = 25,0 \text{ kN}, \quad H_{Ed} = \frac{M \cdot y_{\max}}{\sum_i y_i^2} = \frac{3,353 \cdot 0,06}{0,06^2 + 0,06^2} = \frac{3,353}{0,12} = 27,94 \text{ kN}.$$

Siła wypadkowa

$$F_{v,Ed} = \sqrt{25,0^2 + 27,94^2} = 37,49 \text{ kN}.$$

Warunek nośności

$$F_{v,Ed} = 37,49 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 38,59 \text{ kN}.$$

Sprawdzenie połączenia na rozerwanie blokowe:

- pole rozciąganej części przekroju środnika

$$A_{nt} = 0,62(3,0 - 0,5 \cdot 1,8) = 1,302 \text{ cm}^2,$$

- pole ścinanej części przekroju środnika

$$A_{nv} = 0,62(3,5 + 2 \cdot 6,0 - 2,5 \cdot 1,8) = 6,82 \text{ cm}^2,$$

- obliczeniowa nośność połączenia na rozerwanie blokowe, dla

$$\gamma_{M2} = \min(1,1; 0,9 f_u / f_y) = \min(1,1; 0,9 \cdot 360 / 235) = 1,1,$$

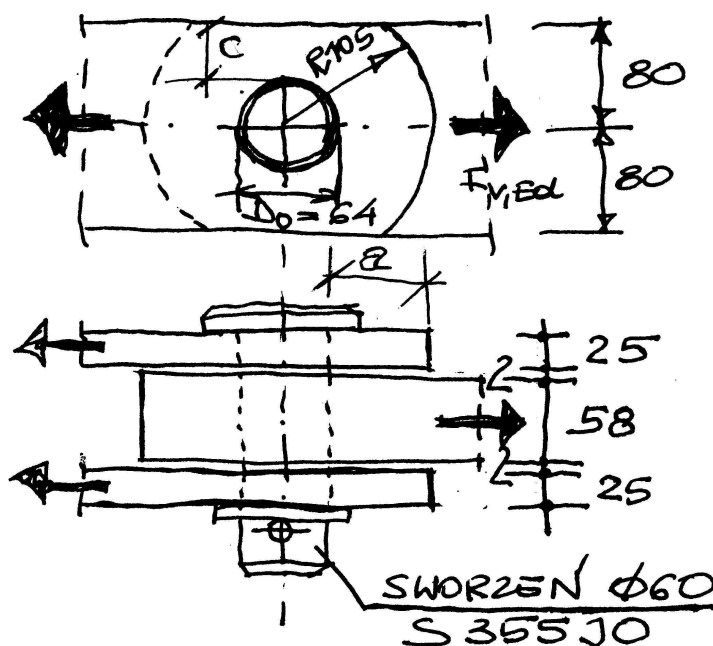
$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 10^3 \cdot 1,302 \cdot 10^{-4}}{1,1} = \frac{235 \cdot 10^3 \cdot 6,82 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{3} \cdot 1,0}$$
$$= 21,30 + 92,53 = 113,83 \text{ kN.}$$

- warunek nośności

$$R = 75 \text{ kN} < V_{eff,2,Rd} = 113,83 \text{ kN.}$$

PRZYKŁAD NR 1

ZAPROJEKTOWAĆ POŁĄCZENIE ŚWORZNIOWE PRZENOŚĄCE
 OBCIĄŻENIE OBLICZENIOWE $F_{v,Ed} = 300 \text{ kN}$
 PRZYJĘTO ŚWORZENIĘ ZE STALI S355 $f_{up} = 450 \text{ MPa}$
 $f_{yp} = 335 \text{ MPa}$, A BLACHY ZE STALI S235 $f_y = 235 \text{ MPa}$
 POŁĄCZENIE POKAZANO NA RYSUNKU.



POTRZEBNY PRZĘCIÓŻ
 ŚWORZNIKA

$$A = \frac{F_{v,Ed} \gamma_{M2}}{0.6 f_{up}} =$$

$$A = \frac{300 \times 10^3 \times 1.25}{0.6 \times 450}$$

$$A = 1389 \text{ mm}^2$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{1389}{\pi}} = 42 \text{ mm}$$

WZGLĘDNIAJĄC ZGNIANIE
 PRZYJĘTO ŚWORZENIE Ø60

POTRZEBNA GRUBOŚĆ BLACHY WENETRZNEJ
 $\gamma_{M0} = 1.0$

$$t = 0.7 \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} = 0.7 \sqrt{\frac{300 \times 1.0 \times 10^3}{235}} = 26.1 \text{ mm}$$

ZĘ WZGLĘDOWO KONSTRUKCYJNYCH PRZYJĘTO $t_1 = 58 \text{ mm}$
 BŁAGIY ZEWNĘTRZNE PRZYJĘTO $t_2 = 25 \text{ mm}$.

MOMENT ZGINAJĄCY SPOWODUJE TRZY:

$$a = 25 \text{ mm}; b = 58 \text{ mm}; c = 2 \text{ mm}.$$

$$M_{Ed} = 0,125 F_{Ed} (b + 4c + 2a) = 0,125 \times 300 \times (58 + 4 \times 2 + 2 \times 25) = 3412,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{Ed} = 3,4125 \times 10^6 \text{ Nmm} =$$

NOŚNOŚĆ SPOWODUJE
 - NA ZGINANIE

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 A f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi 60^2 \times 450}{4 \times 1,25} = 610726 \text{ N}$$

- NA ZGINANIE

$$M_{Rd} = \frac{1,5 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \pi 60^3 \times 335}{32 \times 1,0} = 10655890 \text{ Nmm}$$

WARUNEK NOŚNOŚCI ŚWORZNIKA

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{3,4125}{10,6559}\right)^2 + \left(\frac{300000}{610726}\right)^2 = 0.344 < 1.0 / OK$$

WYMIARY BLACH

$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{MO}}{2 t f_y} + \frac{2 d_o}{3} = \frac{300 \times 10^3 \times 1.0}{2 \times 58 \times 215} + \frac{2 \times 64}{3}$$

$$a \geq 54.7 \text{ mm} \quad \text{przyjeto } a = 105 - 32 = 73 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{MO}}{2 t f_y} + \frac{d_o}{3} = \frac{300 \times 10^3 \times 1.0}{2 \times 58 \times 215} + \frac{64}{3}$$

$$c \geq 33.4 \text{ mm} \quad \text{przyjeto } c = 48 \text{ mm}$$

THE END