

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

**PROJEKTOWANIE POŁĄCZEŃ
KONSTRUKCJI STALOWYCH
WEDŁUG PN-EN 1993-1-8**

ANTONI BIEGUS

tel. 071 372 77 79, 071 32037 66, 0664 531 931

antoni.biegus@pwr.wroc.pl

Norma PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3

Część 1-8 Projektowanie węzłów

– dotyczy projektowania węzłów konstrukcji ze stali S 235, S 275, S 366 i S 460 oraz sprawdzania ich nośności w warunkach przeważająco statycznych.

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie (str. 8÷17)
2. Podstawy projektowania (str. 18÷19)
3. Połączenia na śruby, nity i sworznie (str. 19÷36)
4. Połączenia spawane (str. 37÷47)
5. Analiza, klasyfikacja i modelowanie (str. 47÷56)
6. Węzły konstrukcji z elementów dwuteowych (str. 56÷95)
7. Węzły kształtowników rurowych (str. 95÷128)

Powołania normatywne

- Spawalne stale konstrukcyjne: EN 10025-1:2004, EN 10025-2:2004, EN 10025-3:2004, ...
- Tolerancje, wymiary i warunki techniczne dostawy: EN 10029:1991, EN 10034:1993, ...
- Śruby, nakrętki i podkładki:
 - PN-EN 14399-1 Zestawy śrubowe wysokiej wytrzymałości do połączeń sprężanych. **Cześć 1: Wymagania ogólne**
 - PN-EN 14399-2 **Cześć 2: Badania przydatności do połączeń spr.**,
 - PN-EN 14399-3 **Cześć 3: System HR. Zestawy śruby z łbem i nakrętki sześciokątnej,**
 - PN-EN 14399-4 **Cześć 4: System HV. Zestawy śruby z łbem i nakrętki sześciokątnej,**
 - PN-EN 14399-5 **Cześć 5: Podkładki okrągłe**
 - PN-EN 14399-6 **Cześć 6: Podkładki okrągłe ze ścięciem**
 - ... ,

Nośność węzłów

Warunek bezpieczeństwa w metodzie stanów granicznych

$$\boxed{E_d \leq R_d} \quad (1)$$

gdzie: E_d – efekty działań obciążeń (siły wewnętrzne M, N, V)

$$E_d (F_d) = E_d (F_k \times \gamma_F)$$

R_d - nośność połączenia

$$R_d = a \cdot C \cdot f_{yk} / \gamma_M$$

w którym: C – charakterystyka geometryczna
(np. przekroju łącznika $C = A$),
 a – współczynnik.

Ocenę bezpieczeństwa (1) w normach oblicza się – stopień wykorzystania nośności połączenia

$$\frac{\text{SIŁA WEWNĘTRZNA}}{\text{NOŚNOŚĆ POŁĄCZANIA}} \leq 1 \quad (2)$$

Współczynniki częściowe dotyczące węzłów

Nośność elementów i przekrojów	γ_{M0}, γ_{M1} i γ_{M2} wg PN-EN1993
Nośność śrub, nitów, sworzni oraz spoin	γ_{M2} ($\gamma_{M2} = 1,25$)
Nośność na poślizg	
- w stanie granicznym nośności (kategoria C)	γ_{M3} ($\gamma_{M3} = 1,25$)
- w stanie granicznym użytkowalności (kategoria B)	$\gamma_{M3,ser}$ ($\gamma_{M3,ser} = 1,1$)
Nośność na docisk śrub z iniekcją	γ_{M4} ($\gamma_{M4} = 1,0$)
Nośność węzłów kratownic z kształtowników rurowych	γ_{M5} ($\gamma_{M5} = 1,0$)
Nośność sworzni w stanie granicznym użytkowalności	$\gamma_{M6,ser}$ ($\gamma_{M6,ser} = 1,0$)
Siła sprężająca w śrubach o wysokiej wytrzymałości	γ_{M7} ($\gamma_{M7} = 1,1$)
Nośność betonu	γ_c wg EN 1992

POŁĄCZENIA NA ŚRUBY, NITY I SWORZNIĘ

Wartości charakterystyczne granicy plastyczności f_{yb} oraz wytrzymałości na rozciąganie śrub klasy **4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9**.

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	600	600	800	1000

W połączeniach sprężanych stosuje się **zestawy** śrub wysokiej wytrzymałości klasy **8.8 i 10.9**.

Nakrętki i podkładki należy stosować odpowiednio do klasy wytrzymałości i rodzaju połączenia.

	połączenia niesprężane					sprężane		
Klasa śrub	4.6	4.8	5.6	5.8	8.8	10.9	8.8	10.9
Klasa nakrętek	4	5			8	10	8	10
Twardość podkładek HV	100				200		315÷370	

NORMY

Od 2005 r. obowiązują w Polsce nowe normy europejskie dotyczące zestawów śrubowych przeznaczonych do stosowania w budowlanych konstrukcjach stalowych w połączeniach sprężonych. Wymagania dotyczące zapewnienia jakości, znakowania, identyfikacji i badań przydatności śrubowych określają normy **PN-EN 14399-1** i **PN-EN 14399-2**. Stosowanie śrub wiąże się również z wprowadzeniem normy europejskiej wykonawstwa i odbioru EN 1090-2.

Do połączeń sprężanych przeznaczone są śruby i nakrętki klasy 8.8 i 10.9 systemu HR wg **PN-EN 14399-3** oraz śruby i nakrętki klasy 10.9 systemu HV wg **PN-EN 14399-4**. Na producentów zostało nałożone wymaganie badań nie tylko zestawów śrubowych w celu potwierdzenia cech wytrzymałościowych, ale również wymagania określenia parametrów dokręcenia śrub w połączeniach. Norma ta przewiduje trzy klasy zestawów śrubowych do połączeń sprężanych wymienionych w tabeli, zależnie od sposobu określenia współczynnika dokręcenia.

W Polsce połączenia sprężane wykonywane są na podstawie PN-B-6200 i do czasu uznania EN 1090-2 przez PKN (co nastąpi w 2008 r.) nie będzie dokumentu normatywnego dotyczącego wykonania połączeń sprężanych z zastosowaniem śrub wg EN. W tym okresie posługując się PN-B-6200 można więc nadal stosować wyroby wg norm podanych w tabeli.

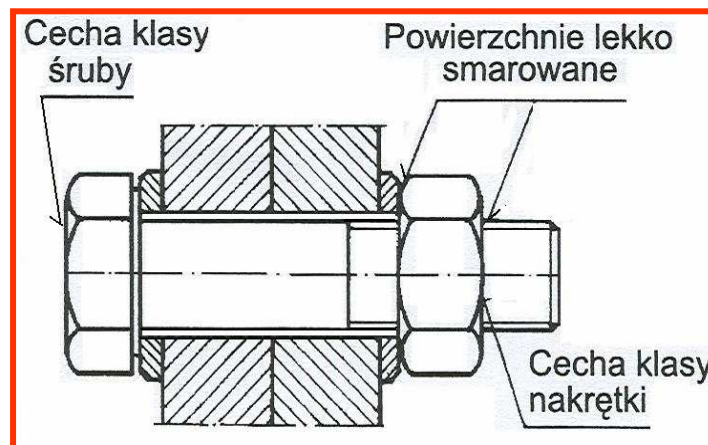
	PN	DIN	PN-EN
Śruba HV	PN-M 82343	DIN 6914	PN-EN 14399-4
Nakrętka HV	PN-M 82171	DIN 6915	PN-EN 14399-4
Podkładka HV	PN-M 82039	DIN 6916	PN-EN 14399-6
Śruba pasowana HV		DIN 7999	PN-EN 14399-8

W połączeniach w których stan graniczny nośności czy użytkowości zależy od siły sprężenia (w zakładkowych ciernych lub w doczołowych obciążonych dynamicznie) należy zalecić stosowanie śrub klasy K2 wg EN, które są już dostępne oraz odpowiednich procedur kontroli wg projektu EN 1090-2.

Śruby, jeśli nie są fabrycznie przygotowane do dokręcania powinny mieć gwint i podkładkę pod częścią dokręcaną nasmarowane odpowiednio do rodzaju połączenia i śrub oraz do sposobu dokręcenia.

Stosuje się pastę **molibdenową MoS₂** lub **smar grafitowy**. Do śrub ocynkowanych zaleca się pastę MoS₂.

Moment dokręcania potrzebny do osiągnięcia sprężenia śrub powinien być zgodny z zaleceniami producenta śrub lub określony doświadczalnie.

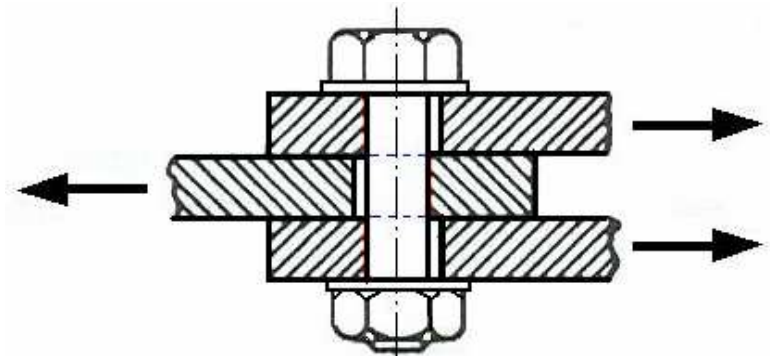


Średnica gwintu śruby	Śruby klasy 10.9			Śruby klasy 8.8		
	siła sprężenia F_{pC}	moment dokręcenia ¹⁾ M _o (Nm)		siła sprężenia F_{pC}	moment dokręcenia ¹⁾ M _o (Nm)	
		lekkie ²⁾ oliwienie	pasta MoS ₂		lekkie ²⁾ oliwienie	pasta MoS ₂
M12	60	130	110	47	100	85
M16	110	320	260	88	250	210
M20	172	620	510	137	500	410
M24	247	1 070	900	198	880	720
M27	321	1 560	1 300	257	1 250	1 050
M30	393	2 120	1 750	314	1 700	1 400

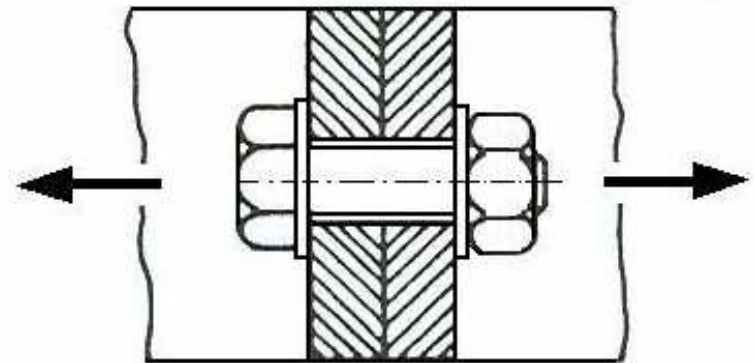
KLASYFIKACJA POŁĄCZEŃ

Z uwagi na sposób usytuowania łączonych elementów i wyłączenie łączników połączenia śrubowe można podzielić na

- **zakładkowe**, w których kierunek głównej składowej obciążenia złącza jest **prostopadły** do osi śrub,



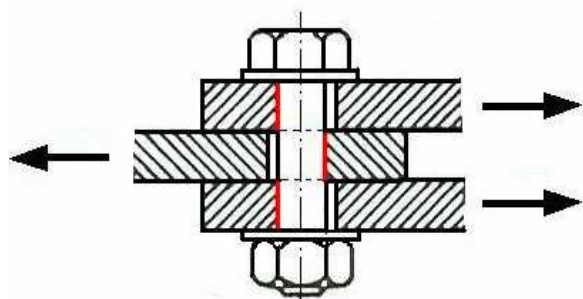
- **doczołowe**, w których kierunek głównej składowej obciążenia złącza jest **równoległy** do osi śrub,



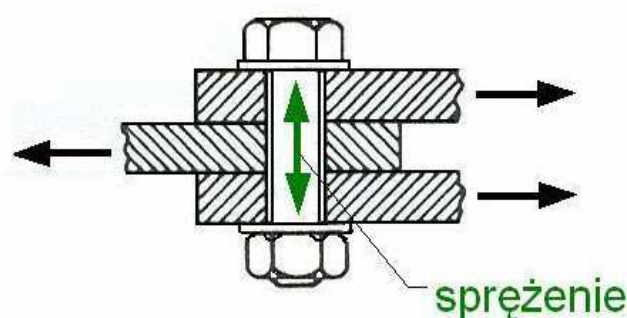
Z uwagi na wstępny naciąg trzpienia śruby (przez dokręcenie nakrętki) połączenia zakładkowe i doczołowe dzieli się na

- niesprężone
- sprężone

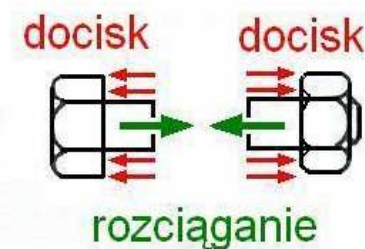
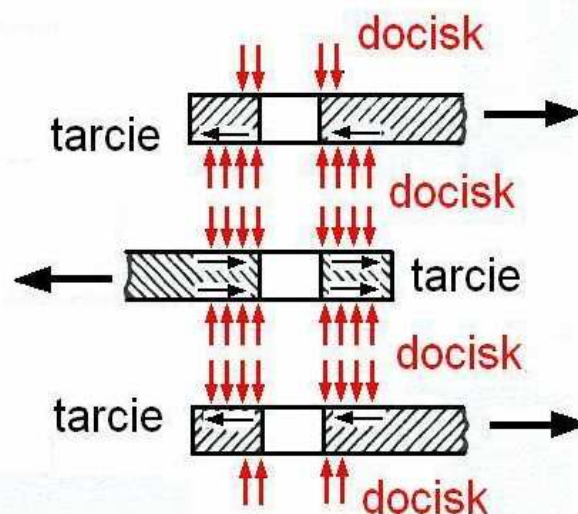
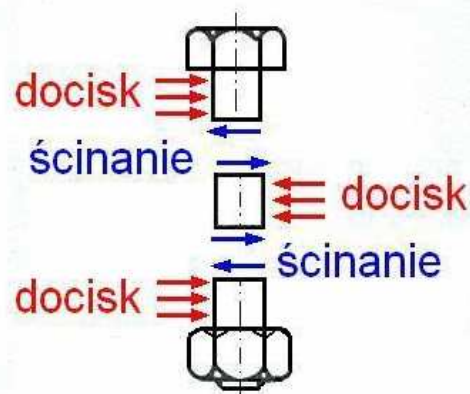
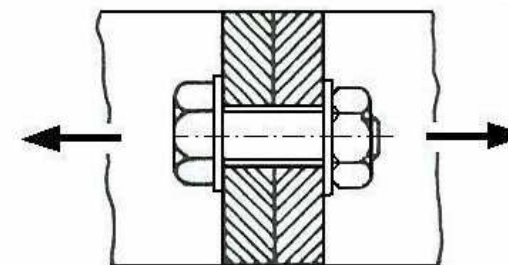
a)



b)



c)



KATEGORIE POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH

Połączenia zakładkowe

Kategoria A: połączenia typu dociskowego.

Stosuje się śruby klasy od 4.6 do 10.9. Połączenia nie wymagają sprężania i przygotowania powierzchni styków.

Obliczeniowe obciążenie ścinające nie powinno przekraczać nośności na ścinanie i nośności na docisk.

Kategoria B: połączenia cierne w stanie granicznym użytkowości.

Stosuje się śruby klasy 8.8 i 10.9. Poślizg nie powinien nastąpić w stanie granicznym użytkowości.

Charakterystyczne obciążenie ścinające nie powinno przekroczyć nośności obliczeniowej na poślizg.

Obliczeniowe obciążenie ścinające nie powinno przekraczać nośności na ścinanie i nośności na docisk.

Kategoria C: połączenia cierne w stanie granicznym nośności.
Stosuje się śruby klasy 8.8 i 10.9. Poślizg nie powinien nastąpić w stanie granicznym nośności.

Obliczeniowe obciążenie ścinające nie powinno przekroczyć nośności obliczeniowej na poślizg ani nośności na docisk.

Połączenia doczołowe

Kategoria D: połączenia niesprężane.

Stosuje się śruby klasy 4.6÷10.9. Połączenia nie wymagają sprężania. Połączenia tej kategorii nie powinny być stosowane przy wielokrotnie zmiennych obciążeniu rozciągającym. Mogą być stosowane do przenoszenia zwykłych obciążeń wiatrem.

Kategoria E: połączenia sprężane.

Stosuje się śruby klasy 8.8 i 10.9 z kontrolowanym dokręceniem zgodnie z normą:

KATEGORIA POŁĄCZENIA	KRYTERIA
Połączenia zakładkowe	
A Połączenia typu dociskowego	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$
B Połączenia cienne w stanie granicznym użyteczności	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$
C Połączenia cienne w stanie granicznym nośności	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$
Połączenia doczołowe	
D Połączenia niesprężone	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$
E Połączenia sprężone	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$

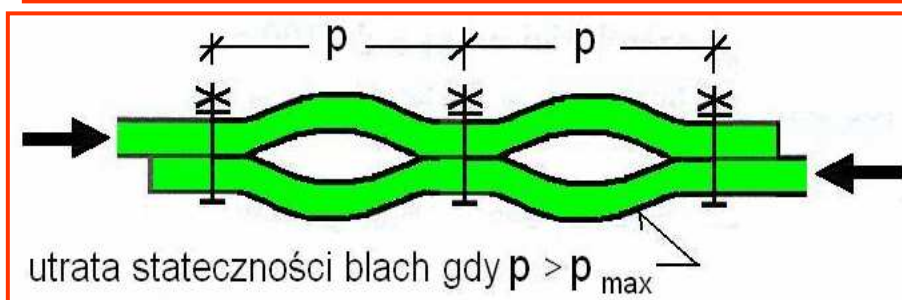
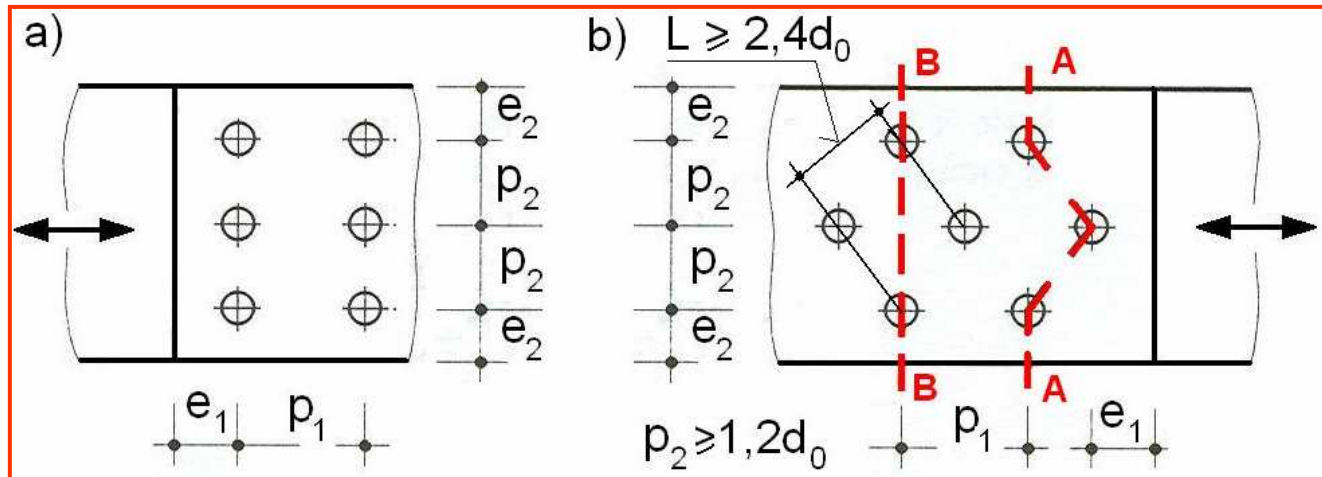
Obliczeniową siłę rozciągającą $F_{t,Ed}$ należy wyznaczyć z uwzględnieniem efektu.

ROZMIESZCZENIE OTWORÓW NA ŚRUBY I NITY

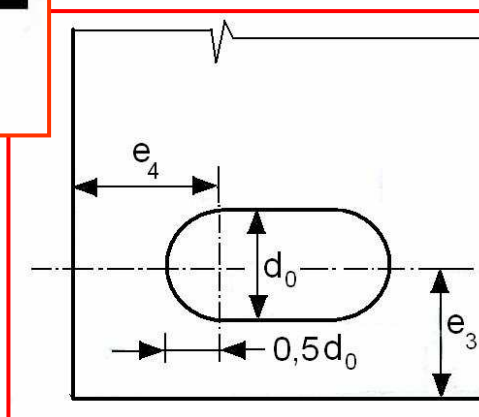
minimum

**maksimum
 $4t + 40 \text{ mm}$**

odległość czołowa e_1	$1,2 d_0$
odległość boczna e_2	
odległość e_3 otworów owalnych	$1,5 d_0$
odległość e_4 otworów owalnych	
rozstaw p_1	$2,2 d_0$
rozstaw $p_{1,0}$	
rozstaw $p_{1,i}$	
rozstaw p_2	$2,4 d_0$



**maksimum
14t lub
200 mm**



NOŚNOŚĆ OBLICZENIOWA POJEDYNCZYCH ŁĄCZNIKÓW

Nośność śrub na ścinanie w jednej płaszczyźnie

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

f_{ub} – wytrzymałość na rozciąganie stali śruby,

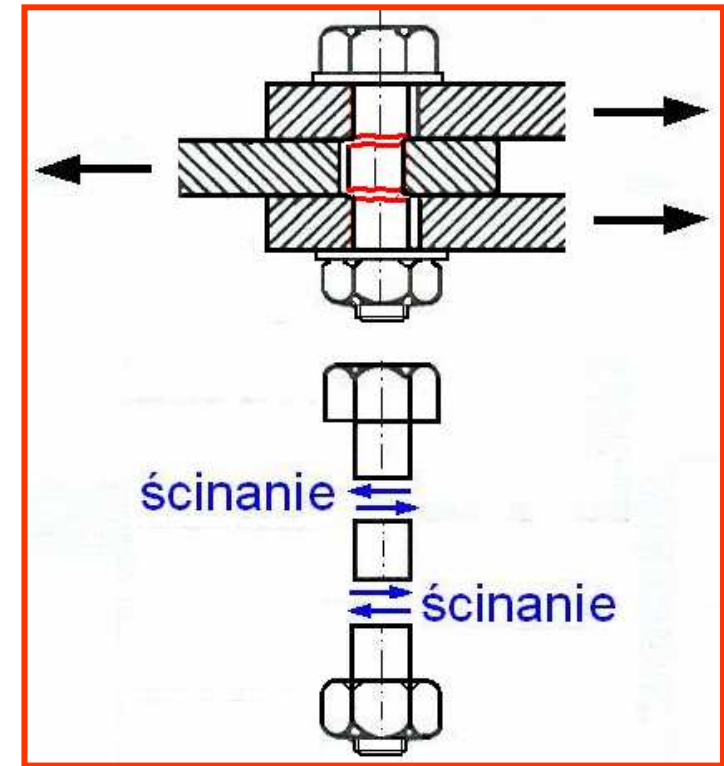
A – pole przekroju trzpienia śruby,

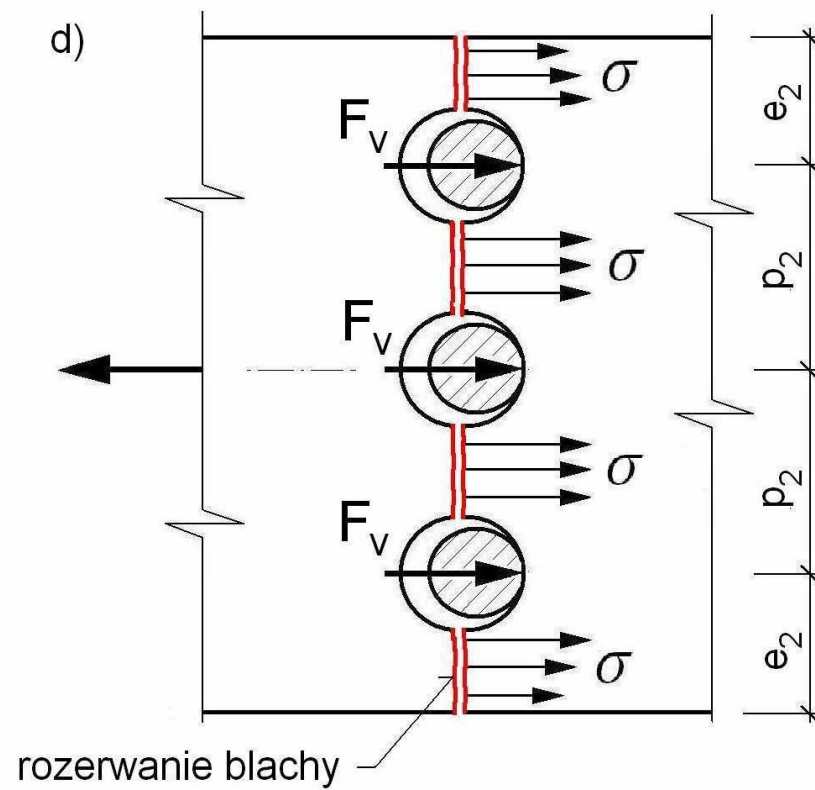
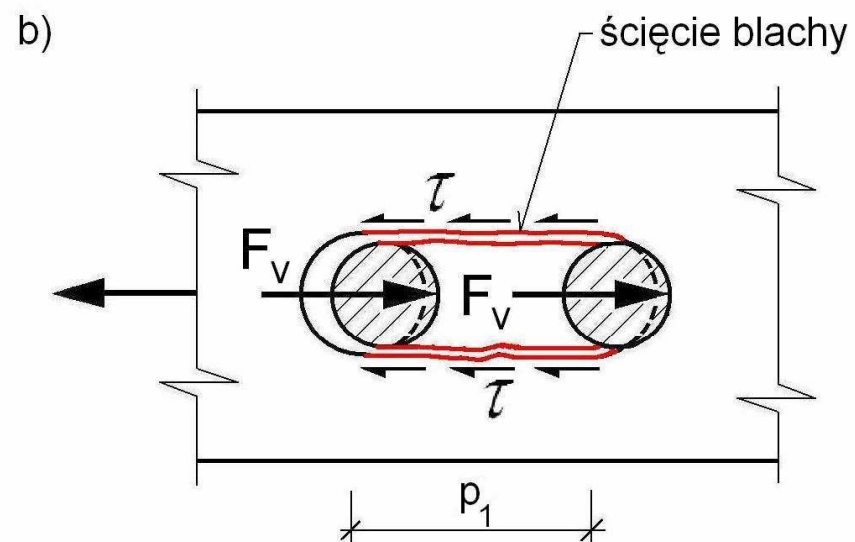
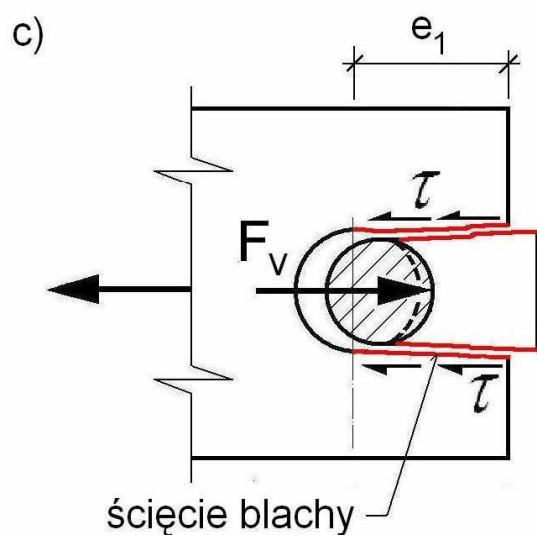
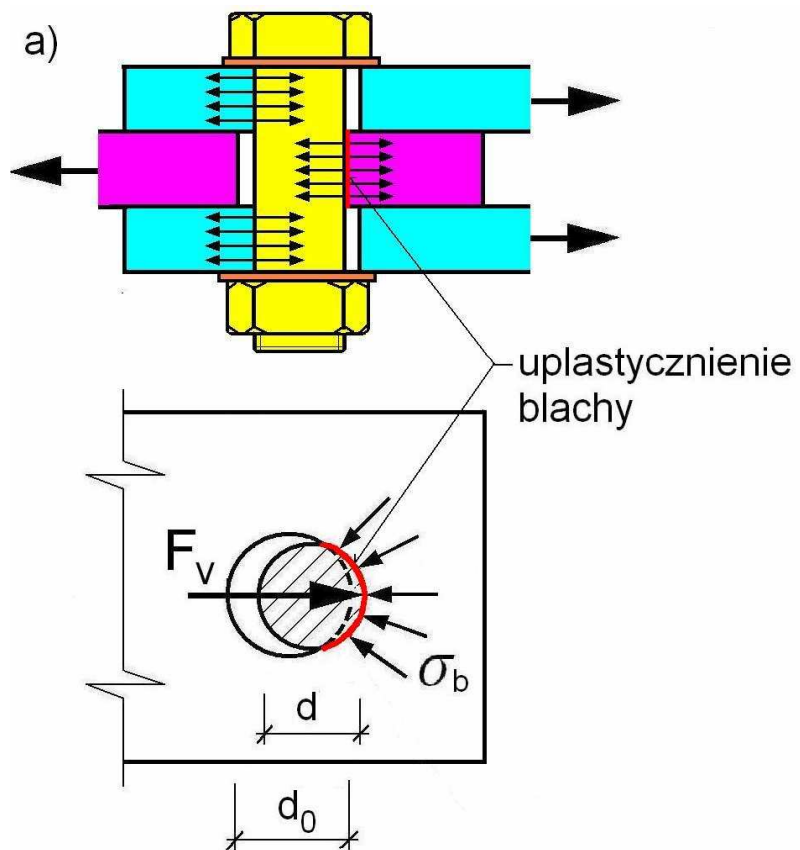
- gdy płaszczyzna ścinania przechodzi gwintowana część śruby, A jest przekroju czynnego śruby A_s oraz:

- dla klas 4.6, 5.6, i 8.8: $\alpha_v = 0,6$

- dla klas 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9: $\alpha_v = 0,5$

- gdy płaszczyzna ścinania **nie** przechodzi przez gwintowaną część śruby, A jest polem przekroju trzpienia śruby oraz: $\alpha_v = 0,6$

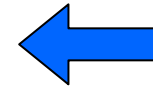




Nośność śruby na docisk

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_{1,i} a_{b,i} f_u dt}{\gamma_{M2}}$$



Uwaga
w PN-EN 1993-1-8
występuje błąd
zamiast a_b jest α_b

f_u – wytrzymałość na rozciąganie stali materiału łączonego,

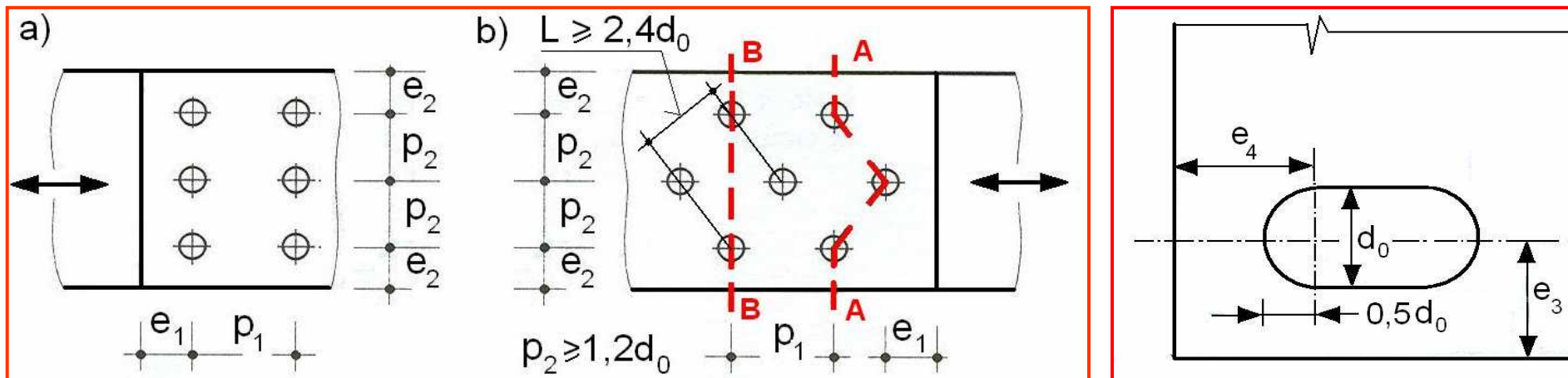
t – sumaryczna grubość ścianki podlegającej dociskowi w złączu o tym samym kierunku przekazywania obciążenia,

• dla **śrub skrajnych**:

$$k_{1,s} = \min \left[\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right); 2,5 \right] \quad a_{b,s} = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right)$$

•• dla **śrub pośrednich**:

$$k_{1,p} = \min \left[\left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \right); 2,5 \right] \quad a_{b,p} = \min \left[\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right); \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right]$$



Nośność śrub na docisk $F_{b,Rd}$ wynosi:

- w otworach powiększonych wynosi 0,8 nośności śrub zwykłych,
- w otworach owalnych, wydłużonych prostopadle do kierunku obciążenia, wynosi 0,6 nośności na docisk śrub w otworach okrągłych normalnych.

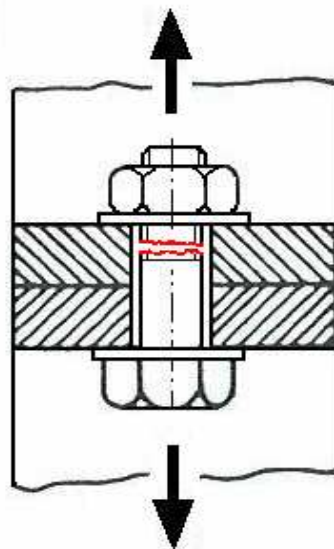
• Z analizy wzoru na nośność śrub na docisk wynika, że gdy przyjmie się minimalne rozstawy śrub $e_1 = e_2 = 1,2d_0$, $p_1 = 2,2d_0$ oraz $p_2 = 2,4d_0$, to nośność śrub na docisk wynosi **26,55%** dla śrub skrajnych i **31,85%** dla śrub pośrednich ich nośności maksymalnej.

• Maksymalna nośność śrub na docisk uzyskuje się, gdy ich rozstawy wynoszą **$e_1 = 3,0d_0$, $e_2 = 1,5d_0$, $p_1 = 3,75d_0$ oraz $p_2 = 3,0d_0$.**

Nośność śrub na rozciąganie

Nośność śrub na rozciąganie wynosi

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$



$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$k_2 = 0,63$ – dla śrub z łbem wpuszczanym,

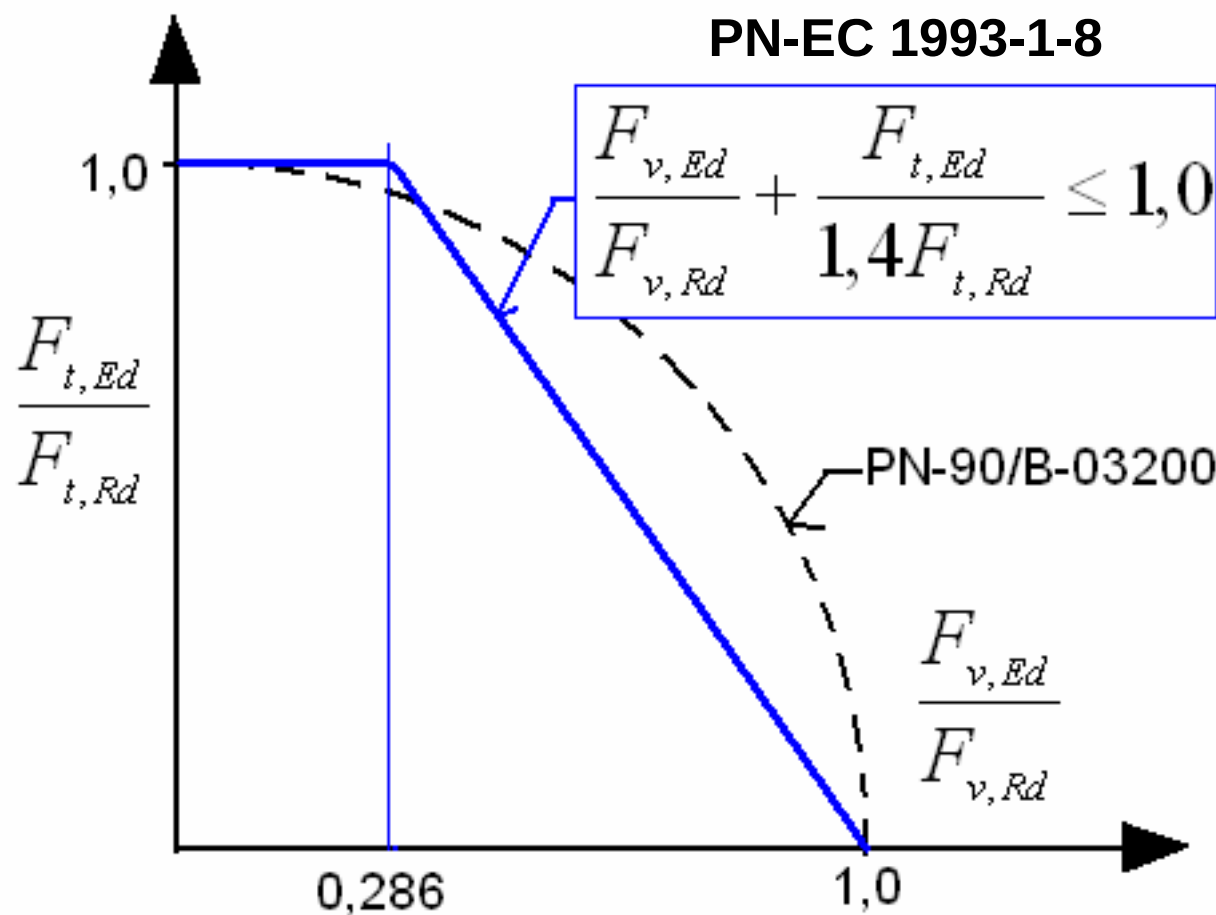
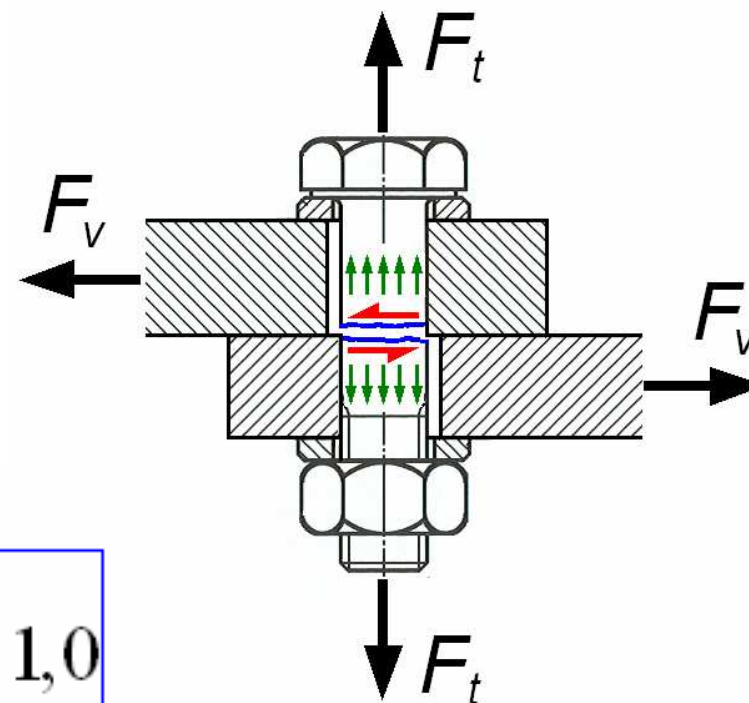
$k_2 = 0,9$ – w innych przypadkach,

f_{ub} – wytrzymałość na rozciąganie stali śruby,

A_s – pole przekroju czynnego śruby przy rozciąganiu.

Dla śrub z łbem wpuszczanym przy określaniu nośności na rozciąganie kąt i głębokość łba powinny być zgodne z normą EN – wg grupy 4.

Nośność śrub ścinanych i rozciąganych



PN-90/B-03200

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

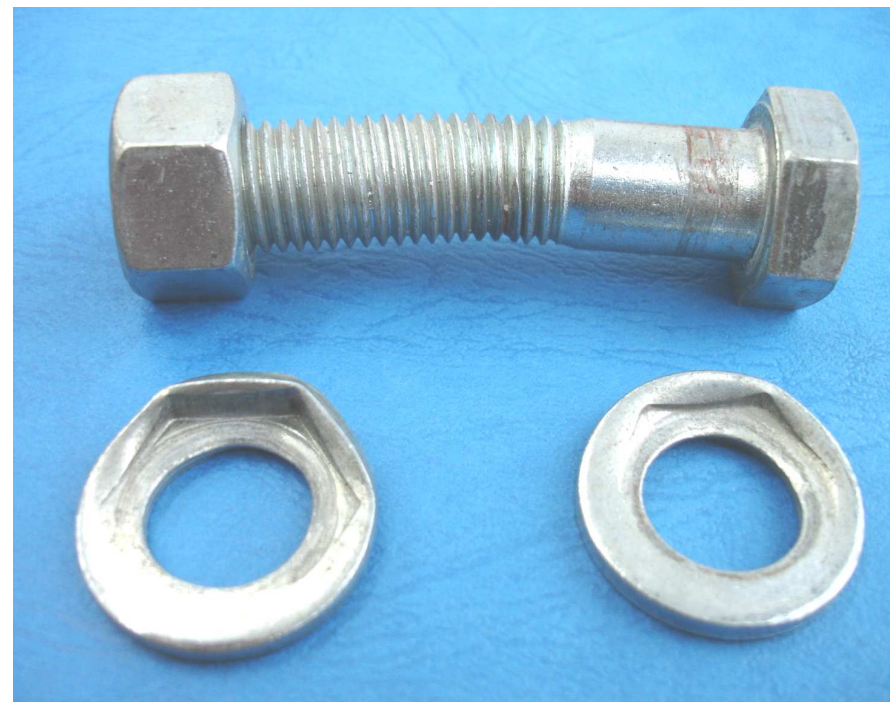
Nośność śrub na przeciąganie

Oprócz oceny nośności śruby na rozciąganie należy ustalić nośność układu złożonego z śruby i blachy, w której może wystąpić przeciąganie śruby przez otwór w blasze (przebicie ze ścięciem). Nośność śrub na przeciąganie sprawdza się ze wzoru

$$B_{p,Rd} = 0,6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$$

t_p – grubość blachy czołowej pod łbem lub pod nakrętką śruby,

d_m – wartość średnia z dwóch wymiarów: koła wpisanego oraz opisanego na obrysie łba lub nakrętki (przyjmuje się wartość mniejszą).



Obliczeniowa siła sprężania śruby

W zakładkowych połączeniach ciernych obciążenie z jednego elementu na drugi jest przenoszone przez siłę tarcia T w płaszczyznach ich przylegania. Tarcie T powstaje wskutek nacisku siłą sprężania, którą wywiera sprężona śruba.

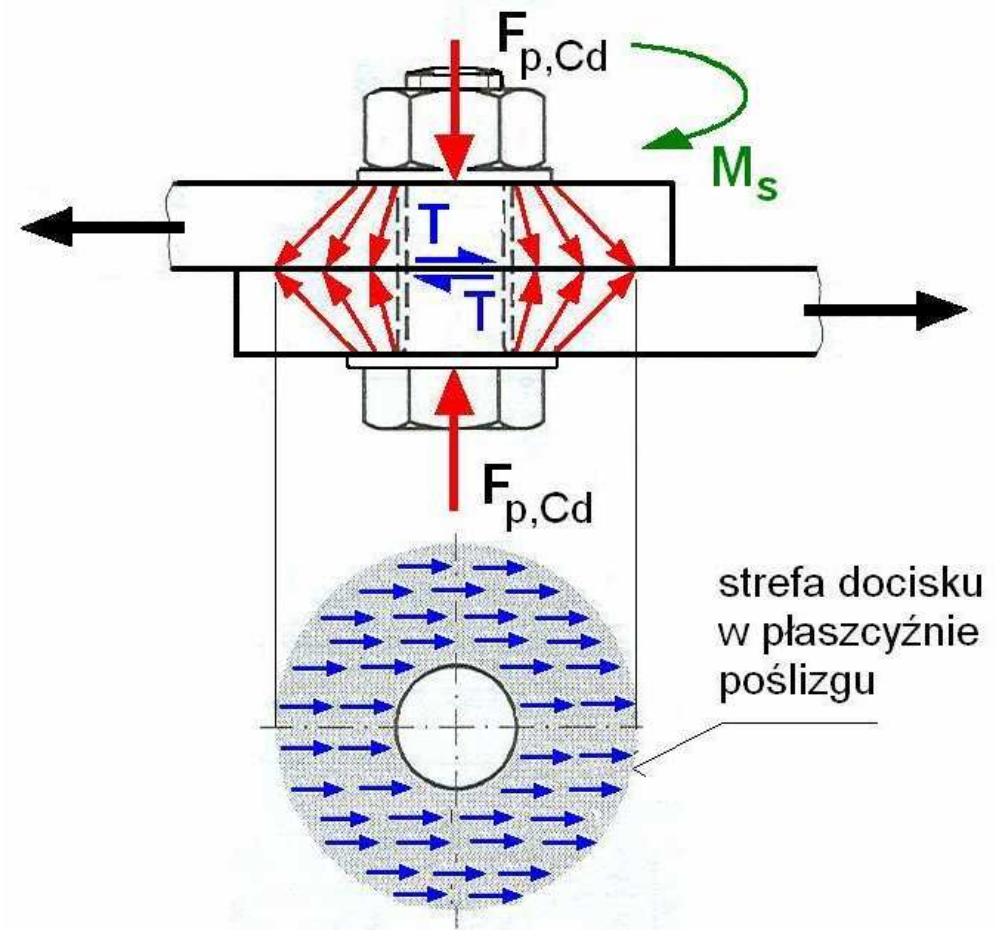
Obliczeniową siłę sprężania oblicza się ze wzoru

$$F_{p,Cd} = 0,7 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M7}}$$

$$\gamma_{M7} = 1,1,$$

f_{ub} – wytrzymałość na rozciąganie stali śruby,

A_s – pole przekroju czynnego śruby przy rozciąganiu.



Klasyfikacja powierzchni ciernych zależnie od współczynnika tarcia μ i przygotowania powierzchni (wg PN-B-06200:2002)

Klasa powierzchni ciekiej	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 (po badaniach $\mu > 0,5$)
B	0,40	- śrutowanie lub piaskowanie i metalizowanie farbą krzemianową alkaliczno-cynkową o grubości $0,5 \div 0,8 \mu\text{m}$
C	0,30	- czyszczenie szczotka druciana lub opalanie bez śladów rdzy
D	0,20	- bez obróbki

Nośność śrub przy poślizgu połączenia

Obliczeniowa nośność z warunku poślizgu połączenia sprężonego śrubami klasy **8.8** i **10.9** jest określona wzorem

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \quad \text{w którym siła sprężania wynosi: } F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$$

obliczeniowa siła sprężania 

$$F_{p,Cd} = 0,7 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M7}}$$

$\gamma_{M3} = 1,25$ – w stanie granicznym **nośności**,

$\gamma_{M3,ser} = 1,1$ – w stanie granicznym **użytkowości**,

n – **liczba styków** ciernych,

μ – współczynnik **tarcia** (np. wg tabl. 3.7; $\mu = 0,2 \div 0,5$),

k_s – współczynnik **kształtu otworów** na śruby:

$k_s = 1,00$ – śruby w otworach normalnych,

$k_s = 0,85$ – śruby w otworach powiększonych lub owalnych krótkich wydłużonych prostopadle do kierunku obciążenia

$k_s = 0,70$ – śruby w otworach owalnych długich wydłużonych prostopadle do kierunku obciążenia,

$k_s = 0,76$ – śruby w otworach owalnych krótkich wydłużonych równoległe do kierunku obciążenia.

Ścinanie i rozciąganie w połączeniach ciernych

W połączeniach ciernych, w których oprócz siły ścinającej $F_{v,Ed}$ lub $F_{v,Ed,ser}$, działa dodatkowo siła rozciągająca $F_{t,Ed}$ lub $F_{t,Ed,ser}$ nośność obliczeniowa śruby na poślizg jest określona wzorami

w połączeniach kategorii B:
$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}}$$

w połączeniach kategorii C:
$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

$\gamma_{M3} = 1,25$ – w stanie granicznym nośności,

$\gamma_{M3,ser} = 1,10$ – w stanie granicznym użytkowalności,

W połączeniach doczołowych, w których siła docisku w strefie ściskanej równoważy siłę rozciągającą, redukcja nośności nie jest wymagana.

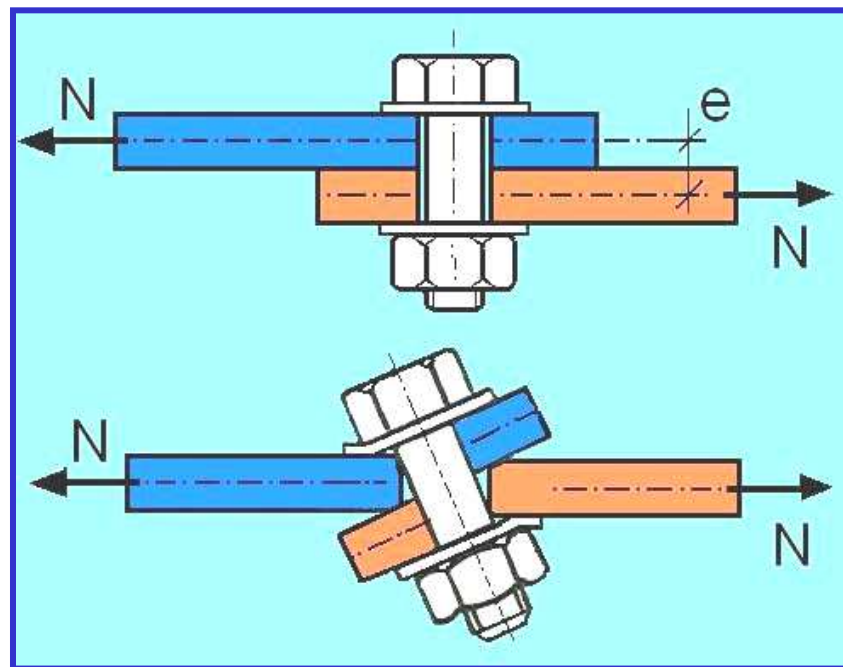
Nośność połączeń zakładkowych

- Obliczeniową nośność grupy łączników można przyjmować jako sumę nośności pojedynczych łączników na docisk $F_{b,Rd}$ pod warunkiem, że nośność obliczeniowa na ścinanie każdego łącznika $F_{v,Rd}$ jest nie mniejsza od jego nośności obliczeniowej na docisk $F_{b,Rd}$. Jeśli ten warunek nie jest spełniony, obliczeniowa nośność grupy łączników oblicza się jako iloczyn liczby łączników i najmniejszej nośności łącznika w grupie.
- Podaną nośność obliczeniowa na ścinanie $F_{v,Rd}$ stosuje się do śrub osadzonych w otworach z nominalnym luzem wg EN 1090.
- Śruby M 12 i M14 mogą być także osadzone z 2 mm luzem w otworach pod warunkiem, że nośność obliczeniowa grupy śrub na docisk jest mniejsza od nośności grupy śrub na ścinanie. Dla śrub klasy 4.8, 5.8, 6.8, 8.8 i 10.9 obliczeniową nośność na ścinanie $F_{v,Rd}$ przyjmuje się ze współczynnikiem redukcyjnym 0,85.
- Do śrub klasy 8.8 i 10.9 w pojedynczych złączach zakładkowych na jedną śrubę lub jeden szereg śrub, stosuje się podkładki hartowane.

W pojedynczym złączu zakładkowym z jednym szeregiem śrub, stosuje się śruby z podkładką pod łbem i nakrętką.

Nośność obliczeniową śruby na docisk $F_{b,Rd}$ w takim złączu jest ograniczona warunkiem:

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

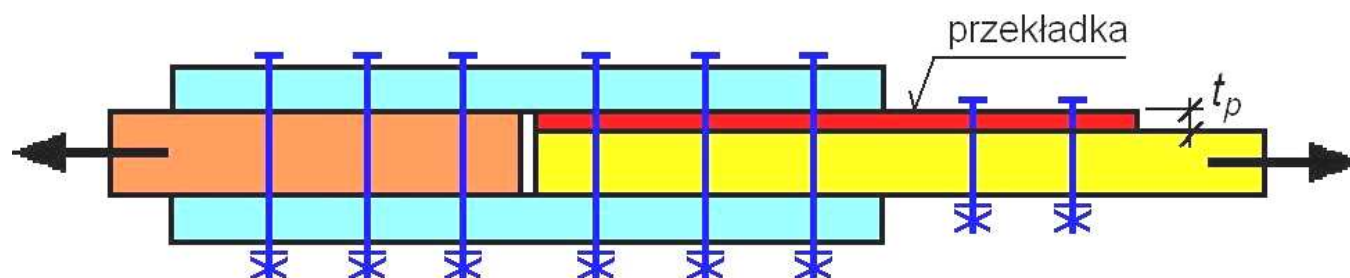


Długość części gwintowanej śruby pasowanej w strefie docisku nie powinna przekraczać 1/3 grubości blachy.

Nie należy stosować złączy zakładkowych na jeden nit.

W przypadku, gdy śruby lub nity pracujące na ścinanie i docisk przechodzą przez przekładkę o grubości t_p większej niż średnica trzpienia śruby d , nośność obliczeniową na ścinanie $F_{v,Rd}$ należy pomnożyć przez współczynnik redukcyjny określony wzorem

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \leq 1$$

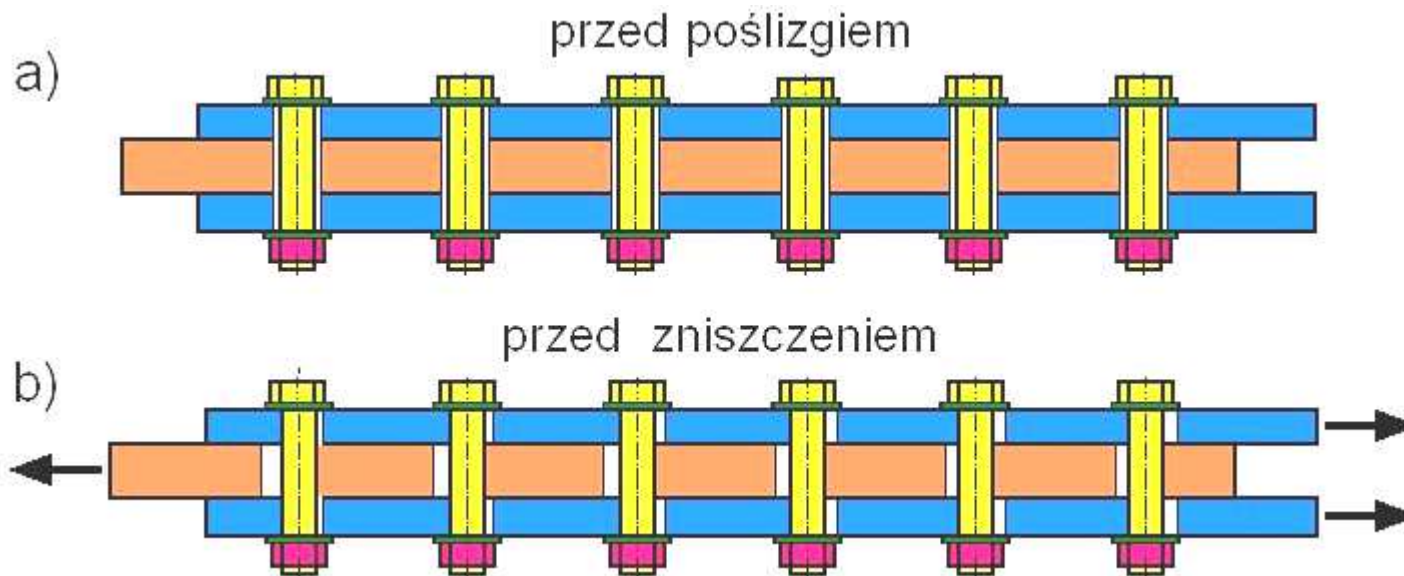


W przypadku połączeń dwuciętych z przekładkami po obu stronach styku, do obliczeń przyjmuje się t_p równą grubości przekładki grubszej.

Nośność połączeń długich

Jeśli odległość osiowa L_j między skrajnymi łącznikami mierzona w kierunku obciążenia jest większa niż $15d$, to nośność obliczeniową na ścinanie wszystkich łączników $F_{v,Rd}$ redukuje się współczynnikiem β_{Lf} określonym wzorem

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



Nośność przekrojów z otworami

Rozerwanie blokowe następuje przez jednoczesne ścięcie przekroju netto wzdłuż kierunku obciążenia i rozerwanie przekroju netto w poprzek kierunku obciążenia.

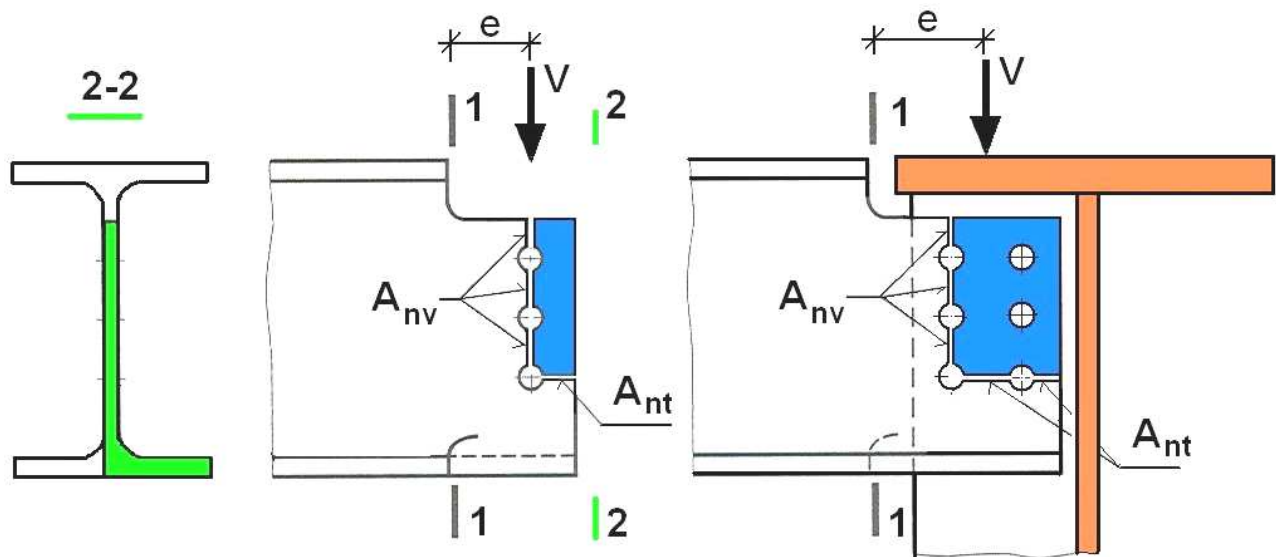
Obliczeniową nośność na rozerwanie blokowe wyznacza się

• w przypadku symetrycznej grupy śrub obciążonych osiowo $V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}$

• w przypadku symetrycznej grupy śrub obciążonych mimośrodowo $V_{eff,2,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0}$

A_{nt} – przekrój netto rozciągany,

A_{nv} – przekrój netto ścinany.



Kątowniki połączone jednym ramieniem i inne niesymetryczne łączone elementy rozciągane

W przypadku elementów:

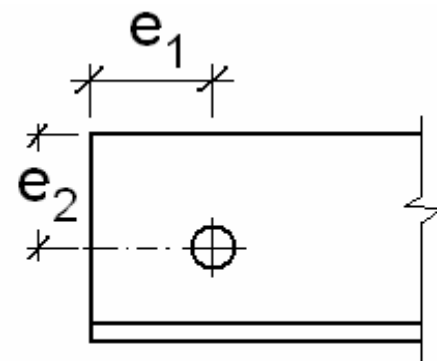
- niesymetrycznych
- symetrycznych połączonych niesymetrycznie (np. kątowników połączonych jednym ramieniem)

należy uwzględnić mimośrodody w węzłach oraz wpływ rozstawu i odległości śrub od brzegu.

Pojedynczy rozciągany kątownik połączony szeregiem śrub na jednym ramieniu może być traktowany jako obciążony osiowo, przy czym jego nośność obliczeniowa jest określona wzorami

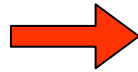
przy jednej śrubie

$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)tf_u}{\gamma_{M2}}$$

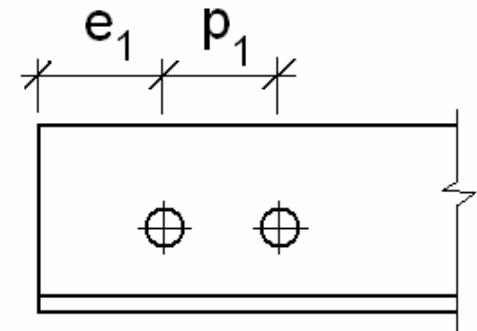


połączenie na 1 śrubę

przy dwóch śrubach

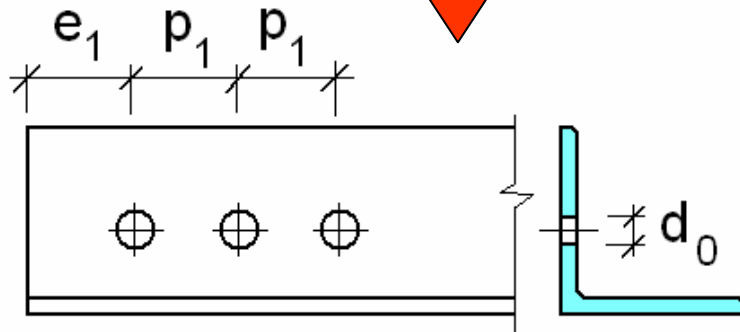


$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$



połączenie na 2 śruby

przy trzech śrubach



połączenie na 3 śruby

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

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

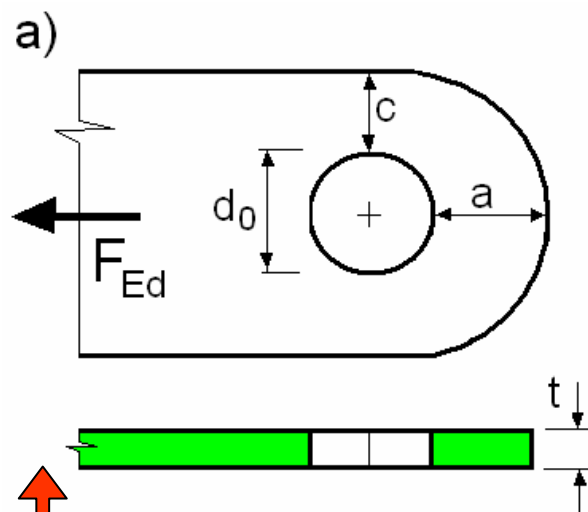
Rozstaw	$p_1 \leq 2,5 d_0$	$p_1 \geq 5,0 d_0$
2 śruby	$\beta_2 = 0,4$	$\beta_2 = 0,7$
3 śruby lub więcej	$\beta_3 = 0,5$	$\beta_3 = 0,7$

Połączenia sworzniowe

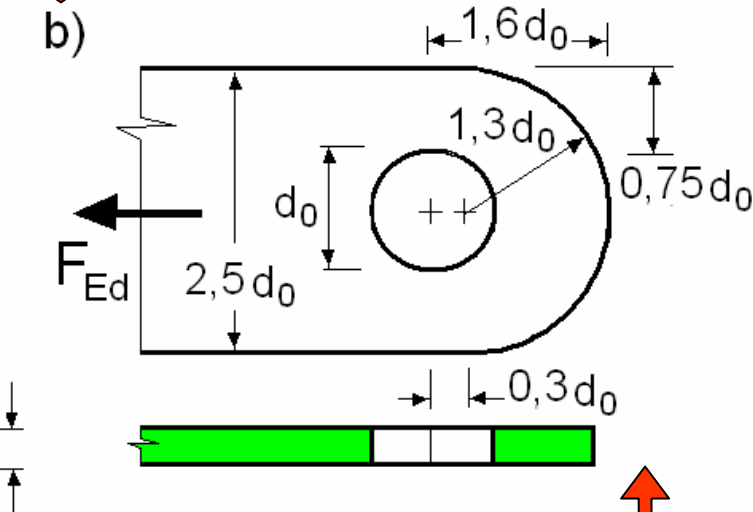
Połączenia na sworznie bez wymaganej zdolności do obrotu można projektować jak połączenia na jedną śrubę, pod warunkiem że długość sworznia nie przekracza 3-krotnej jego średnicy.

Zalecane wymiary elementów z otworem podano na rys. a) – gdy dana jest grubość t ,

b) – gdy dane są wymiary w planie



$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3}; \quad c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y}$$



$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}}; \quad d \leq 2,5t$$

Kryteria obliczeniowe dla połączeń sworzniowych

Nośność na ścinanie sworznia

$$F_{v,Rd} = 0.6 A f_{up} / \gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$$

Nośność na docisk blachy i sworznia

$$F_{b,Rd} = 1.5 t d f_y / \gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$$

Nośność sworznia w stanie granicznym i użytkowości

w przypadku sworzni wymieniających

$$F_{b,Rd,ser} = 0.6 t d f_y / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$$

Nośność na zginanie sworzni

$$M_{Rd} = 1.5 W_{el} f_{yp} / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$$

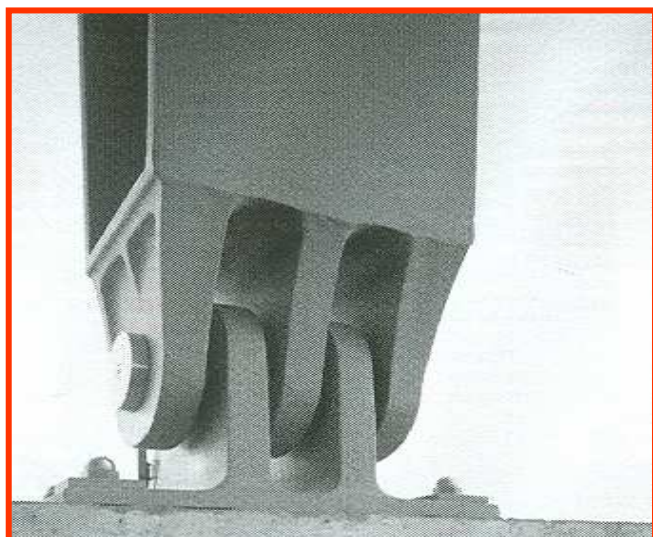
Nośność sworznia w stanie granicznym użytkowości

w przypadku sworzni wymieniających

$$M_{Rd,ser} = 0.8 W_{el} f_{yp} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$$

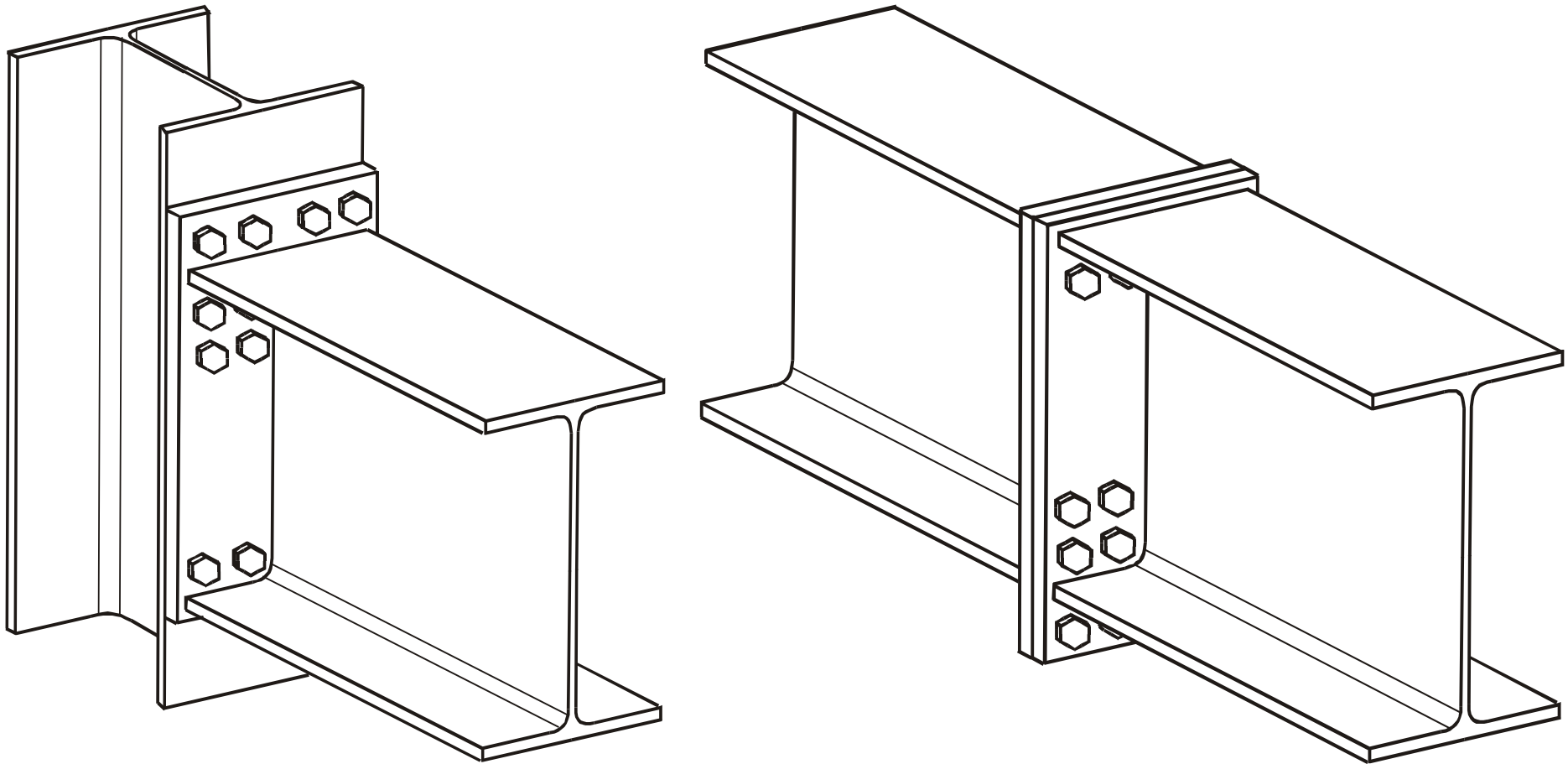
Nośność sworznia przy ścinaniu i zginaniu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$



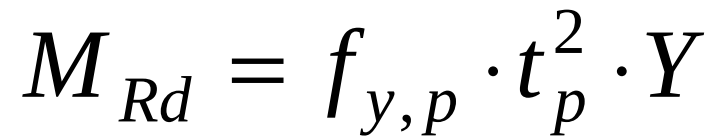
d	średnica sworznia;
f_y	niższa wartość wytrzymałości sworznia lub łączonej części;
f_{up}	wytrzymałość na rozciąganie sworznia;
f_{yp}	granica plastyczności sworznia;
t	grubość łączonej części;
A	pole przekroju sworznia.

Długość linii załomu w doczołowych połączeniach z czterema śrubami w szeregu



Połączenia z blachą czołową wystającą z
zastosowaniem czterech śrub w szeregu

Długość linii załomu w doczołowych połączeniach z czterema śrubami w szeregu

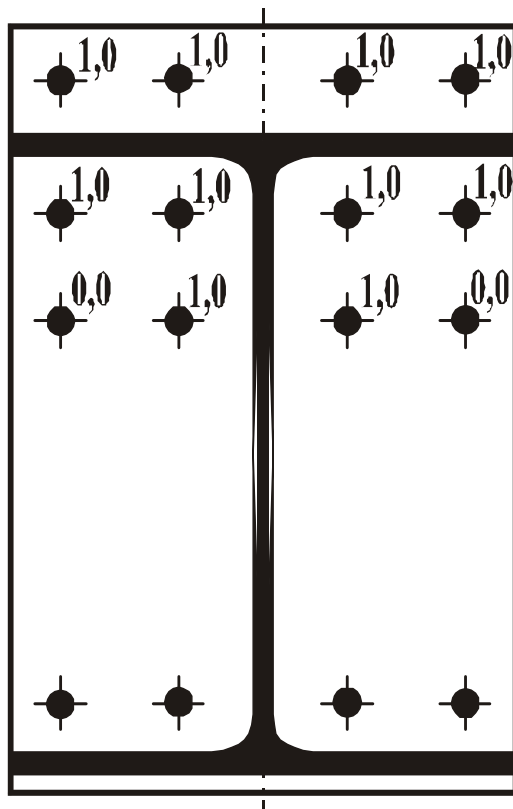


$f_{y,p}$ - granica plastyczności
 blachy czołowej;
 t_p - grubość blachy czołowej,
 Y - długość linii załomu.

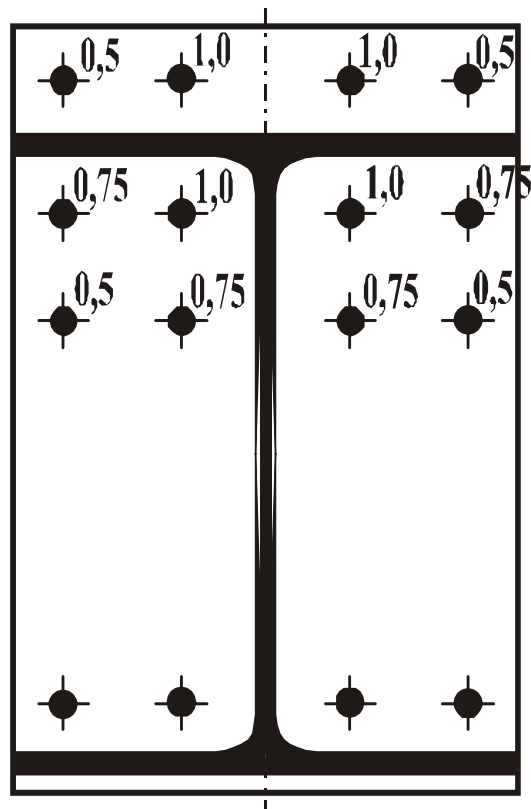
$$Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,1}} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,0}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{f,1} + 0,75p_b) + h_2(s + 0,25p_b)] + \frac{g}{2}$$

Długość linii załomu w doczołowych połączeniach z czterema śrubami w szeregu

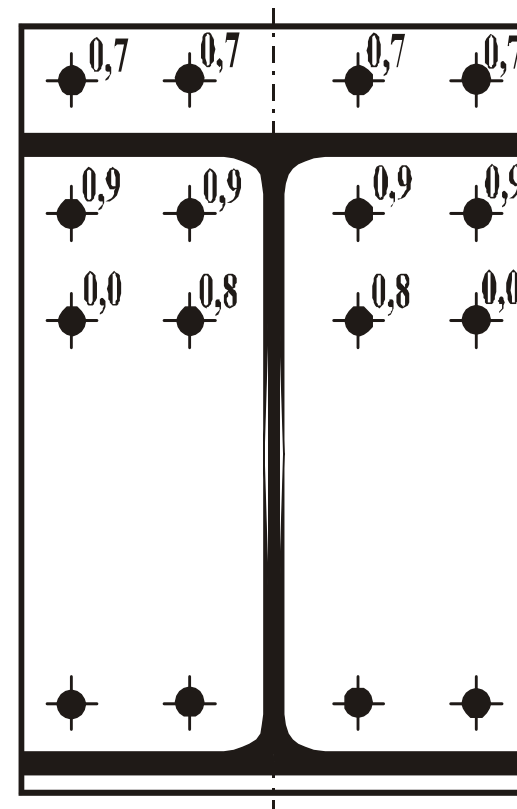
gruba blacha czołowa



cienka blacha czołowa

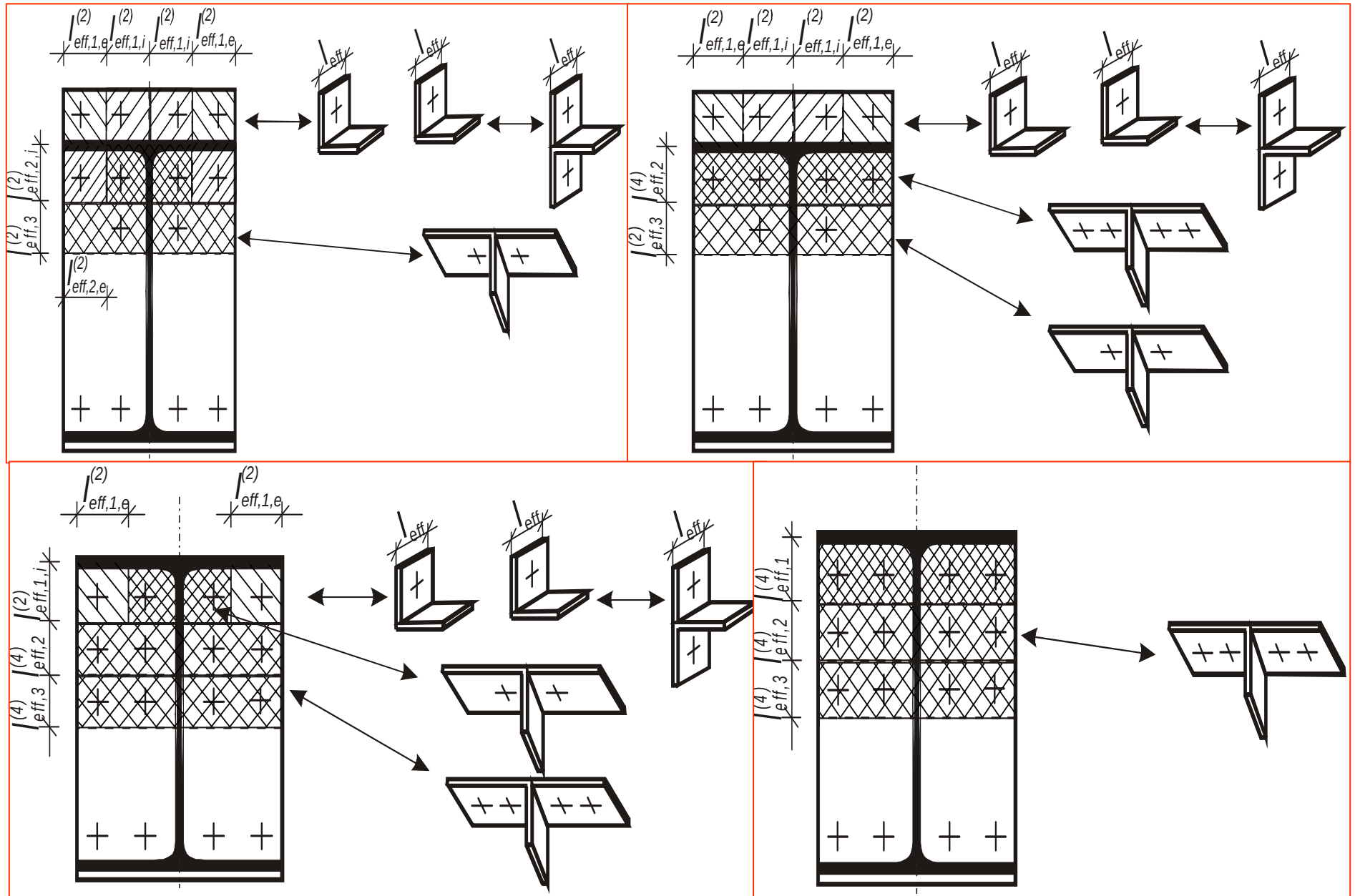


PN-90/B-03200



$$M_{Rd} = B_{t,Rd} \sum n_i \cdot h_i \quad M_{Rd} = \max \left\{ \frac{\sum n_i \cdot h_i (B_{t,Rd} - Q_{\max,i})}{\sum n_i \cdot h_i \cdot T_b} \right. \quad M_{Rd} = B_{t,Rd} \cdot \sum n_i \cdot \varpi_i \cdot h_i$$

Metoda arbitralnego rozdziału sił na śruby



$$M_{j,Rd} = \sum h_r \cdot F_{r,Rd}$$

Tablica 6.2: Obliczeniowa nośność $F_{T,Rd}$ półki króćca teowego

	Gdy efekt dźwigni może wystąpić, to jest gdy $L_b \leq L_b^*$		Brak efektu dźwigni
Model 1	Metoda 1	Metoda 2 (metoda alternatywna)	
bez blach wzmocniających	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
z blachami wzmocniającymi	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Model 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$		
Model 3	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		

Model 1: Całkowite uplastycznienie półki (mechanizm)

Model 2: Zniszczenie śrub wraz z uplastycznieniem półki

Model 3: Zniszczenie śrub

POŁĄCZENIA SPAWANE

Postanowienia w normie PN-EN 1993-1-8 dotyczą stali konstrukcyjnych powoływanych w PN-EN 1993-1-1 o grubości materiału nie mniejszej niż **4 mm**, w których właściwości mechaniczne spoiwa są porównywalne z materiałem rodzimym.

W przypadku połączeń:

- wyrobów cieńszych stosuje się **EN 1993-1-3**,
- zgrzewanych stosuje się **EN 1994-1**,
- narażonych na zmęczenie stosuje się **PN-EN 1993-1-9**.

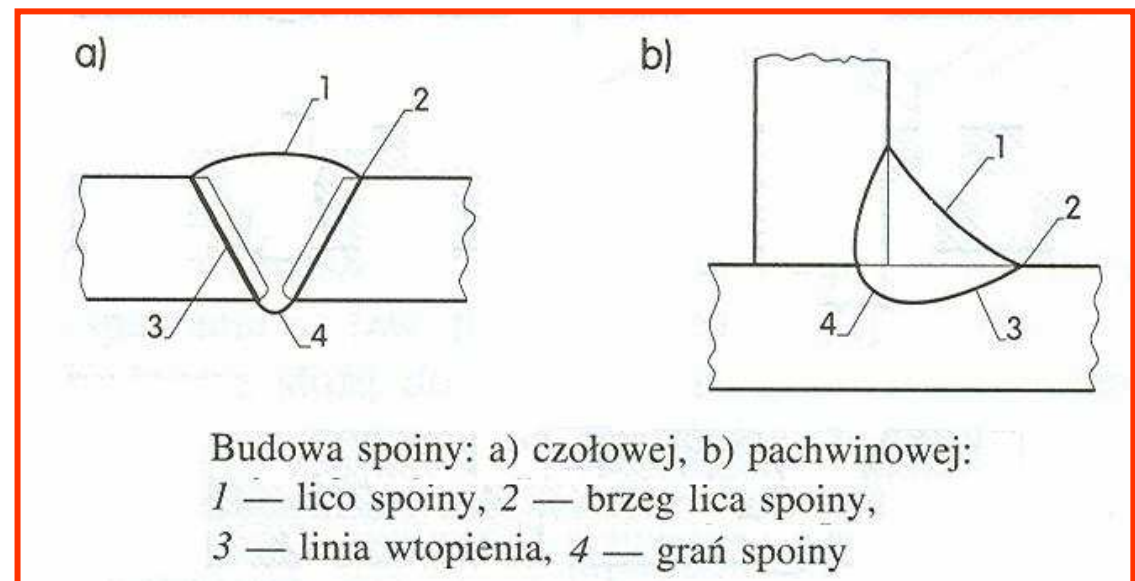
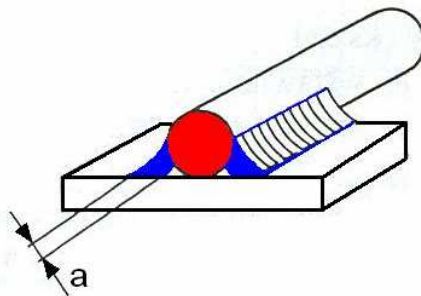
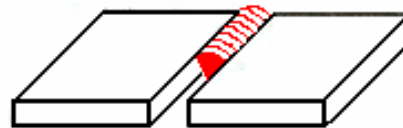
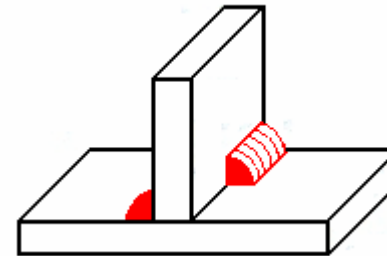
Zwykle wymagany jest poziom jakości spoin **C** według normy EN ISO 25817.

Wszystkie materiały powinny odpowiadać właściwościom normowym grupy 5 wymienionych w PN-EN 1993-1-8, a parametry spoiwa powinny być równoważne lub lepsze od materiału rodzimego.

Kształt i wymiary

Norma obejmuje projektowanie spoin

- pachwinowych,
- pachwinowych obwodowych,
- czołowych,
- otworowych,
- szerokobruzdowych.



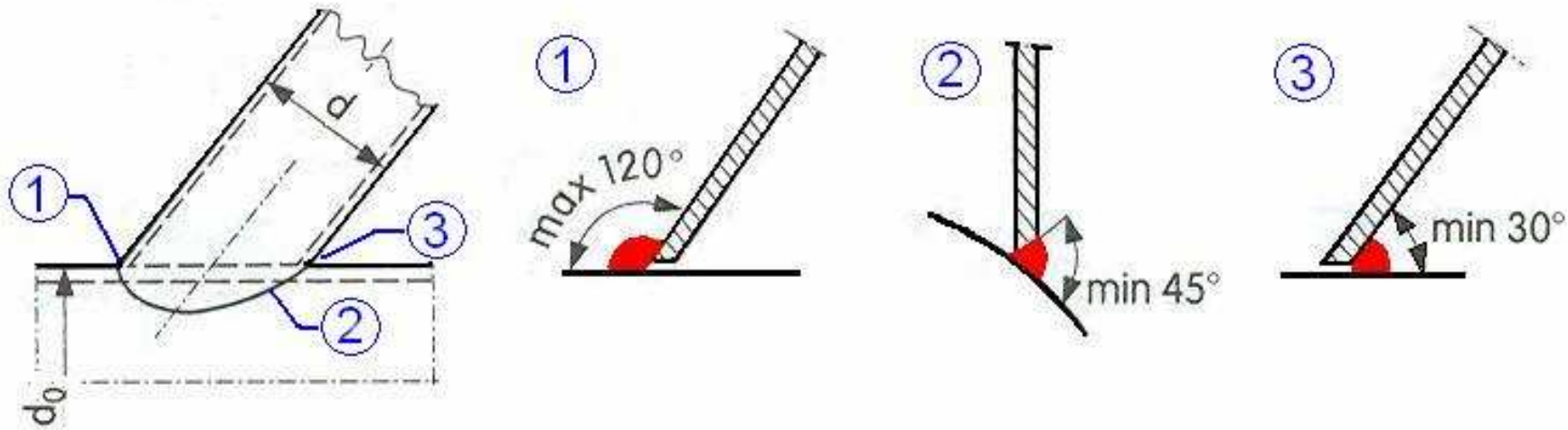
Spoiny pachwinowe

Spoiny pachwinowe można stosować do łączenia części, których ścianki tworzą kąt od 60° do 120° .

Kąty mniejsze są dopuszczalne przy założeniu, że spoina będzie traktowana jako czołowa z niepełnym przetopem.

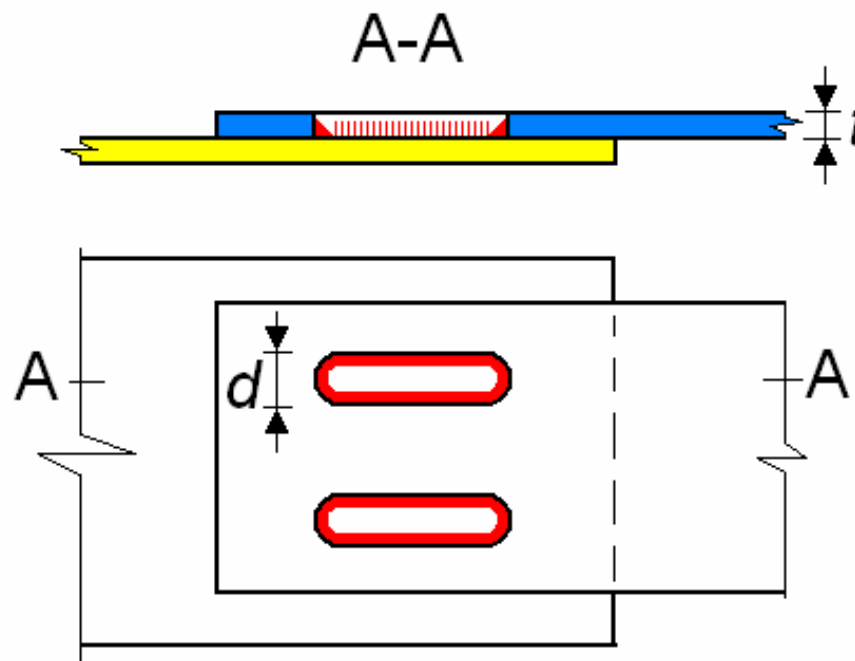
Przy kątach większych od 120° nośność spoin pachwinowych określa się eksperymentalnie wg EN 1990 – Załącznik D.

Spoiny pachwinowe na końcach blach przedłuża się w sposób ciągły poza naroże **na długość nie mniejszą od $2a$** . Przedłużone zakończenia pokazuje się na rysunkach.



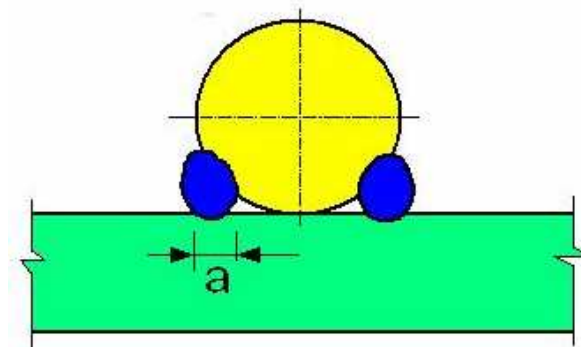
Spoiny pachwinowe obwodowe

Średnica otworu okrągłego d lub szerokości otworu owalnego spoiny pachwinowej obwodowej nie powinna być mniejsza od czterokrotnej grubości t blachy z otworem: $d > 4t$.



Spoiny szerokobruzdowe

Obliczeniowa grubość efektywną spoin szerokobruzdowych prętów pełnych łączonych do płaskich powierzchni podano na rysunku



Spoiny pachwinowe przerywane

Wymagania dotyczące przerw (L_1 , L_2) pomiędzy sąsiednimi odcinkami L_w pokazano na rysunku.

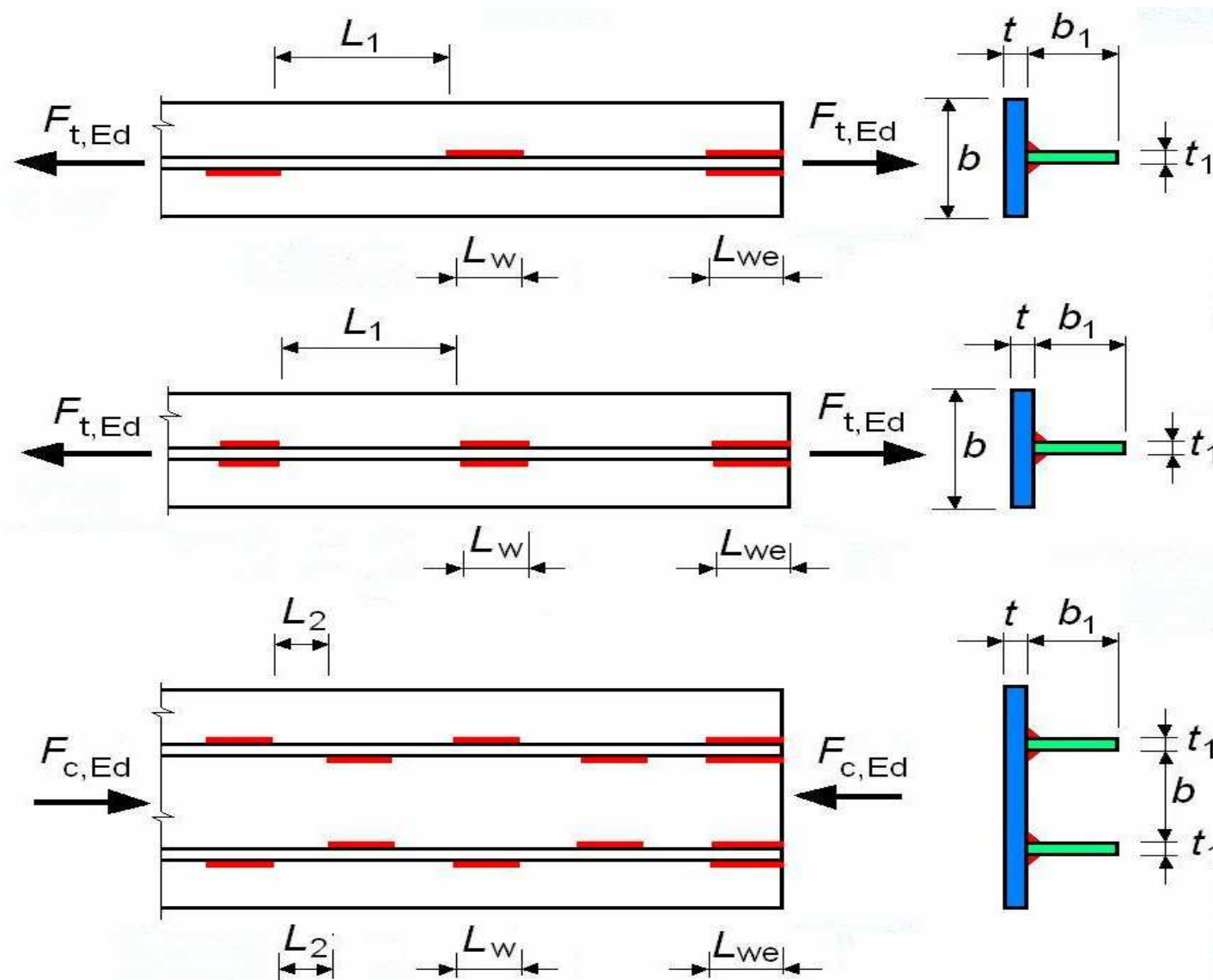
Przerwę (L_1 lub L_2) przyjmuje się jako wartość mniejszą z odległości pomiędzy końcami spoin po przeciwległych stronach oraz odległości pomiędzy końcami spoin po tej samej stronie.

W każdym ściegu przerywanej spoiny pachwinowej jej odcinek skrajny wykonuje się zawsze, na każdym końcu łączonych części.

W elementach złożonych, w których blachy łączy się spoinami przerywanymi należy spełnić warunek

$$L_{we} \geq \min (0,75b, 0,75 b_1)$$

Spoiny
pachwinowe
przerywane



Elementy spawane rozciągane:

$$L_1 \leq \min(16t, 16t_1 \text{ i } 200 \text{ mm})$$

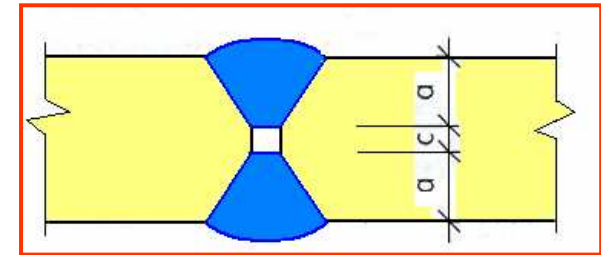
Elementy spawane ściskane lub ścinane:

$$L_2 \leq \min(12t, 12t_1, 0,25b \text{ i } 200 \text{ mm})$$

Spoiny czołowe

Spoinę czołową z pełnym przetopem definiuje się jako spoinę, która ma całkowity przetop i jest wtopiona w materiał rodzimy na całej grubości złącza.

Spoina czołowa z niepełnym przetopem ma głębokość mniejszą od całkowitej grubości materiału rodzimego.



Spoiny czołowe przerywane nie powinny być stosowane

Spoiny otworowe

Spoinę otworowe (czopowe) mogą być stosowane: jako ści-nane, w celu **zapobieżenia wybrzuszeniu lub separacji** części zakładkowych lub jako złącza pośrednie w elementach złożonych.

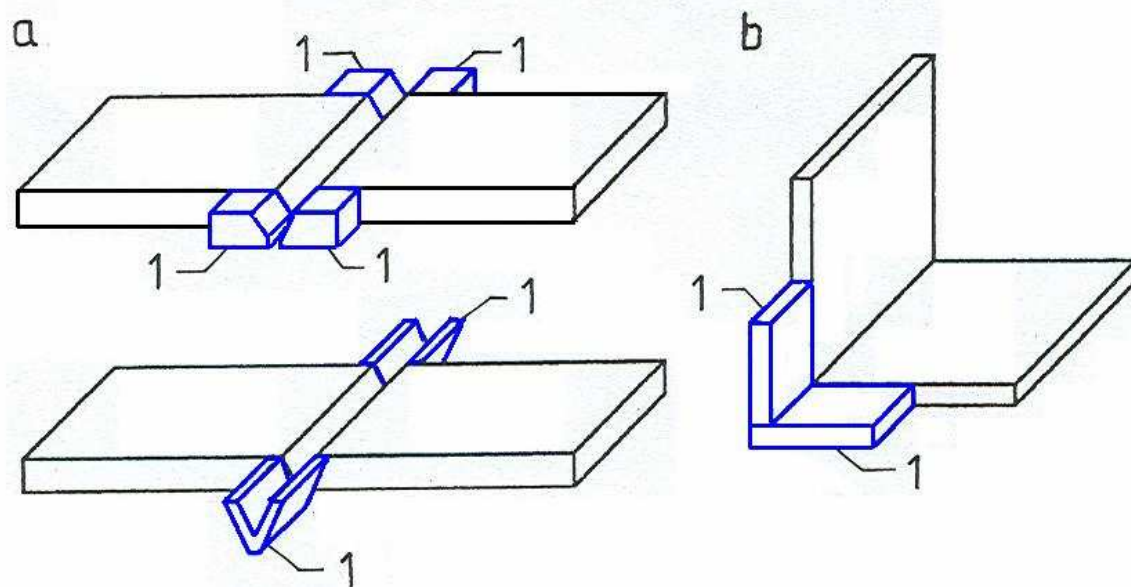
Średnica otworu otworu okrągłego spoiny otworowej powinna być co najmniej o 8 mm większa niż grubość blachy zawierającej otwór.

Nośność obliczeniowa spoin pachwinowych

Długość spoin

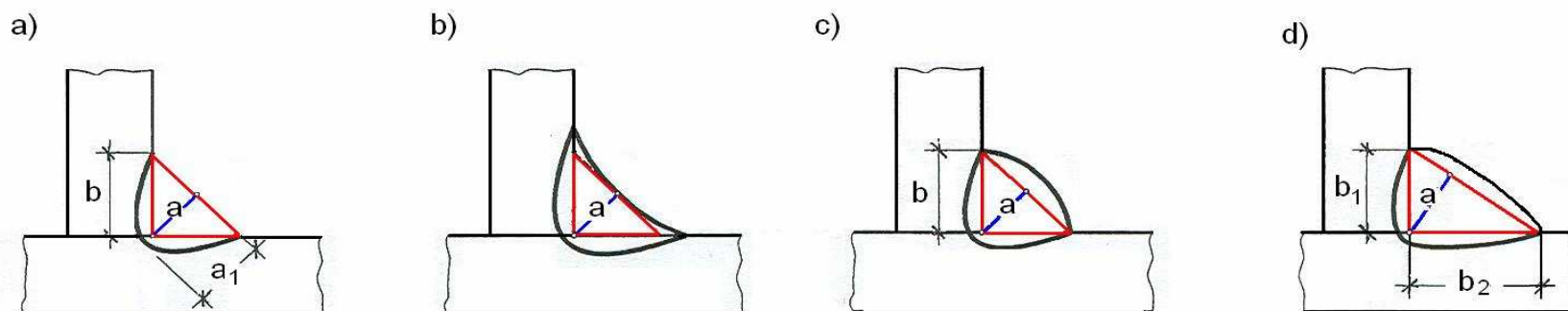
Jako efektywną długość spoiny pachwinowej l_{eff} przyjmuje się długość, na której spoina ma pełny przekrój. Można ją przyjmować jako długość całkowitej spoiny zmniejszona o **dwie efektywne grubości a** . Jeśli spoina ma pełny przekrój na swojej długości łącznie z początkiem i końcem, redukcja długości efektywnej (ze względu na początek i koniec) nie jest wymagana.

Nie należy stosować spoin pachwinowych o długości efektywnej mniejszej niż 30 mm, ani 6-cio krotnej grubości spoiny.



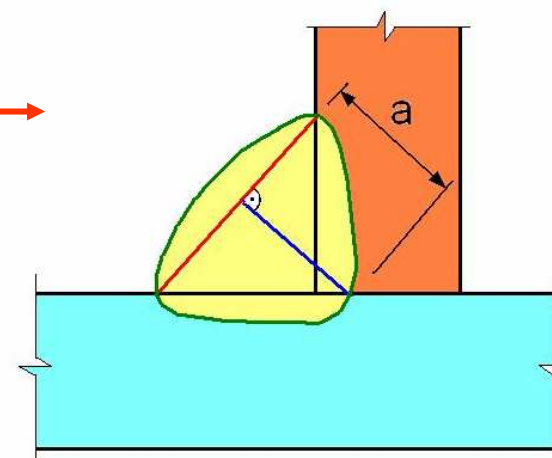
Efektywna grubość spoiny pachwinowej

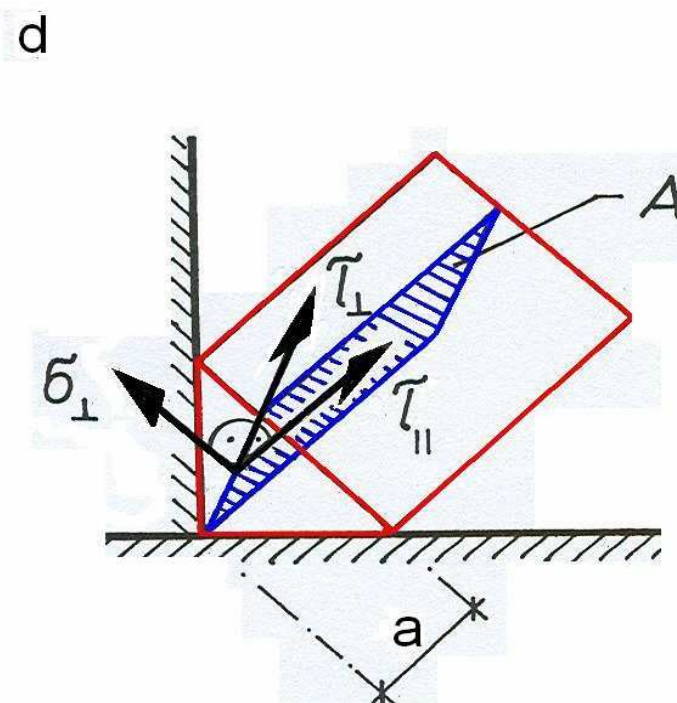
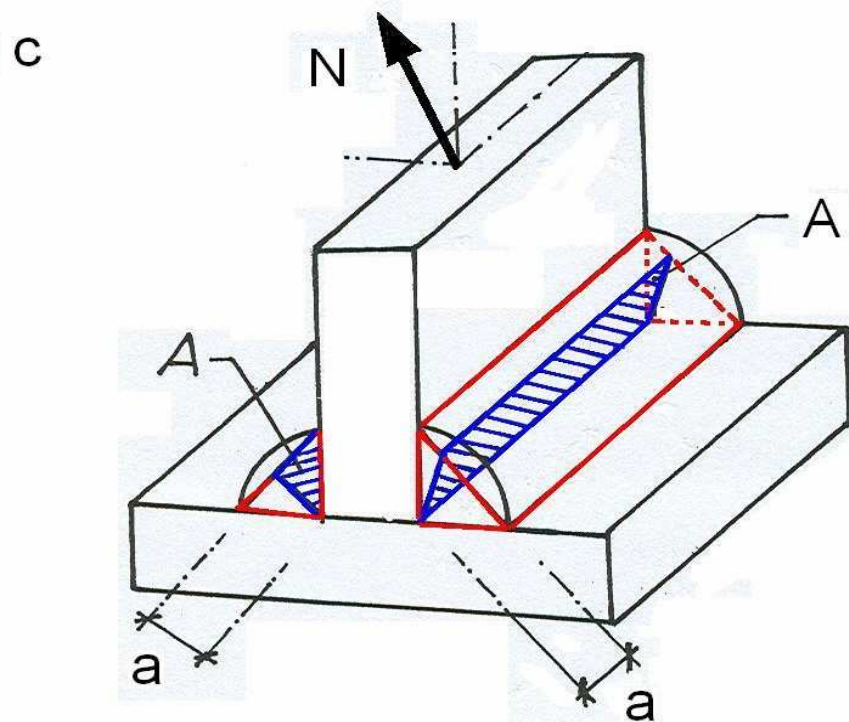
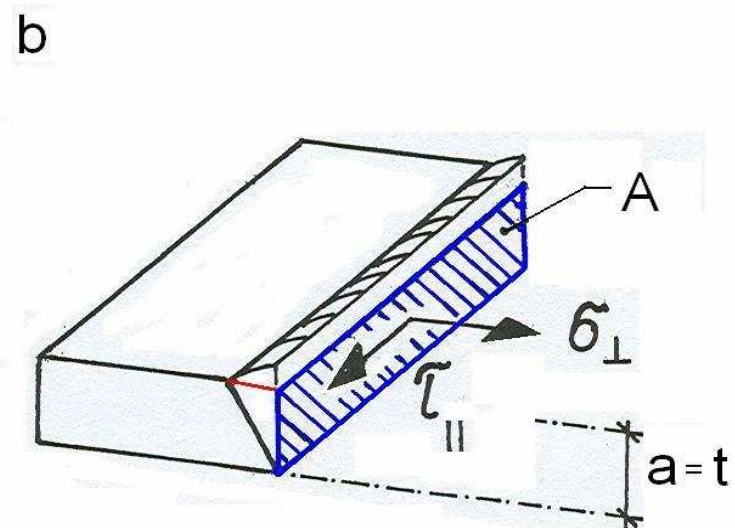
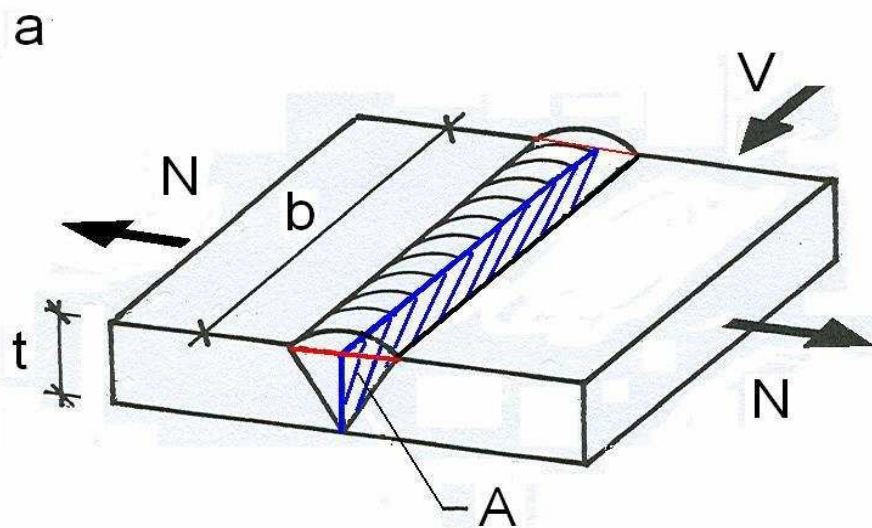
Jako efektywną grubość spoiny pachwinowej a przyjmuje się wysokość największego trójkąta (z równymi lub nierównymi ramionami) wpisanego w obrys przekroju poprzecznego spoiny, mierzona prostopadłe do zewnętrznego boku tego trójkąta.



Efektywna grubość spoiny nie powinna być mniejsza niż 3 mm.

Przy określaniu nośności obliczeniowej spoiny pachwinowej z głębokim przetopem, można uwzględniać dodatkową grubość spoiny, o ile wstępne badania wykażą, że wymagana głębokość wtopienia może być regularnie uzyskiwana.





Warunki nośności spoin pachwinowych

Nośność spoin pachwinowych sprawdza się stosując:

- metodę kierunkową lub
- metodę uproszczoną

Metoda kierunkowa

Siły przenoszone przez spoinę o długości jednostkowej rozkłada się na składowe:

- równoległe i
- prostopadłe do osi podłużnej spoiny

oraz składowe

- normalne i
- styczne

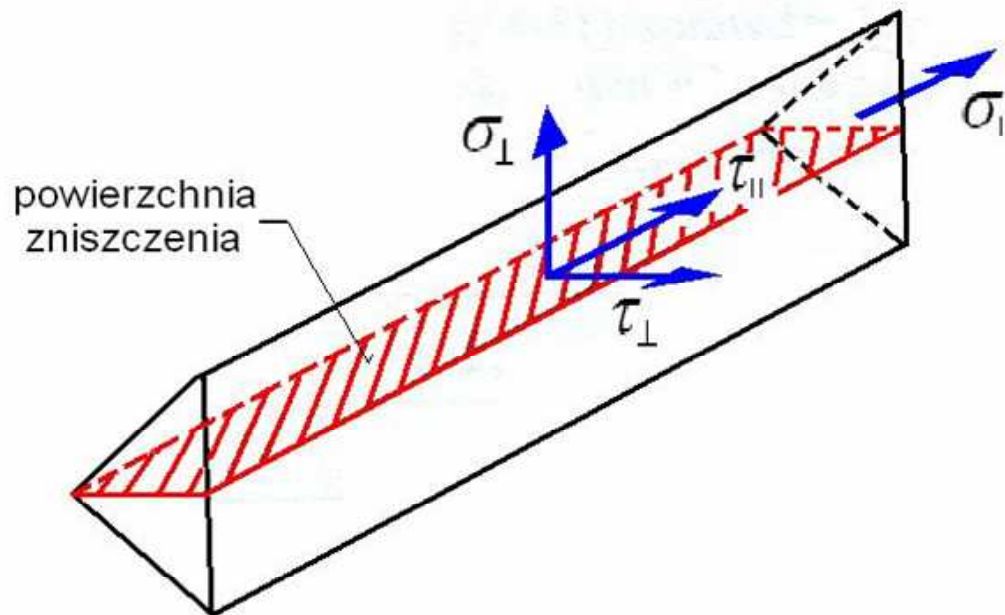
do płaszczyzny jej przekroju.

Jako obliczeniowe pole przekroju spoiny przyjmuje się

$$A_w = \sum a l_{eff}$$

Przyjmuje się równomierny rozkład naprężeń w przekroju spoiny oraz składowe (pokazane na rysunku):

- naprężenia normalne prostopadłe do przekroju spoiny $\sigma_{\perp}$
- naprężenia normalne równoległe do przekroju spoiny $\sigma_{\parallel}$
- naprężenia styczne (w płaszczyźnie przekroju) prostopadłe do osi spoiny $\tau_{\perp}$
- naprężenia styczne (w płaszczyźnie przekroju) równoległe do osi spoiny $\tau_{\parallel}$



Nośność spoiny pachwinowej sprawdza się ze wzoru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\Pi}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

gdzie

f_u – nominalna wytrzymałość na rozciąganie słabszej z łączonych części,

β_w – odpowiedni współczynnik korelacji podany w tablicy.

Gatunek stali	S 235	S 275	S 355	S 420, S 460
Współczynnik korekcyjny β_w	0,80	0,85	0,90	1,00

Metoda uproszczona obliczania nośności spoin pachwinowych

Alternatywnie można uznać, że nośność obliczeniowa spoiny pachwinowej jest odpowiednia, gdy w każdym punkcie na jej długości wypadkowa wszystkich sił na jednostkę długości spoiny spełnia warunek

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$F_{w,Ed}$ – wartość obliczeniowa siły na jednostkę długości spoiny,

$F_{w,Rd}$ – nośność obliczeniowa spoiny na jednostkę długości spoiny, którą - niezależnie od położenia płaszczyzny przekroju spoiny względem działania siły, wyznacza się ze wzoru

$$F_{w,Rd} = f_{vw.d} a$$

gdzie obliczeniowa wytrzymałość spoiny na ścinanie: $f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$

f_u – nominalna wytrzymałość na rozciąganie słabszej z łączonych części,

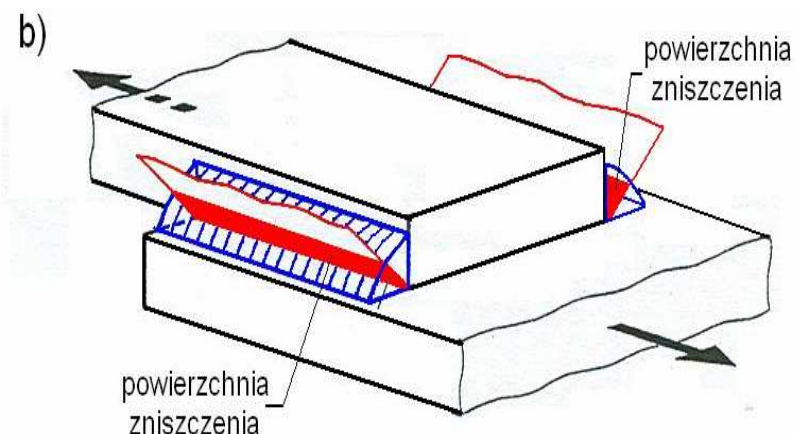
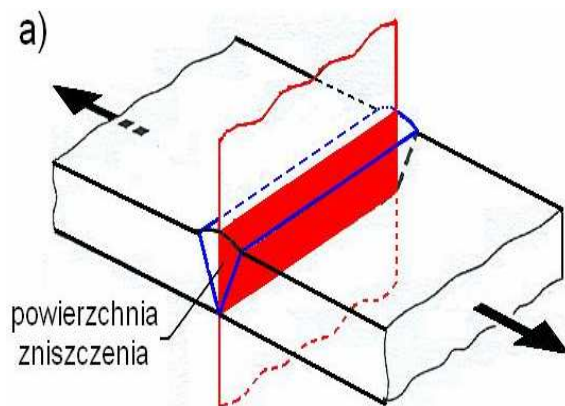
β_w – odpowiedni współczynnik korelacji podany w tablicy.

Nośność obliczeniowa spoin czołowych

Spoiny czołowe z pełnym przetopem

Nośność obliczeniową spoin z **pełnym przetopem** przyjmuje się równa nośność obliczeniowej słabszej z łączonych części, pod warunkiem, że będzie wykonana z odpowiedniego materiału wykazującego przy próbie rozciągania spoiny minimalną granicę plastyczności i minimalną wytrzymałość nie mniejszą od wartości nominalnych materiału rodzimego.

Spoiny czołowe z niepełnym przetopem

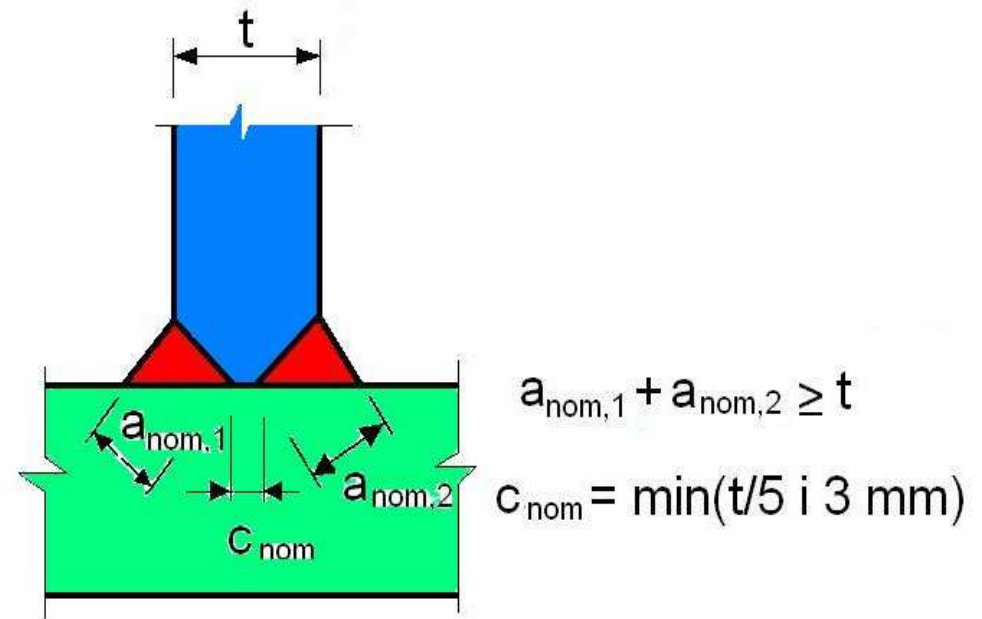


Nośność obliczeniową spoin z niepełnym przetopem wyznacza się stosując metodę dla spoin pachwinowych z głębokim przetopem (podaną wcześniej). Ich grubość przyjmuje się nie większą od głębokości przetopu, jaka może być regularnie uzyskiwana.

Złącza teowe na spoiny czołowe

Nośność obliczeniową czołowego złącza teowego, z dwiema spoinami czołowymi z niepełnym przetopem i nadbudowanymi spoinami pachwinowymi można wyznaczyć jak w przypadku spoin czołowych z pełnym przetopem, pod warunkiem, że całkowita nominalna grubość spoiny (z wyłączeniem niezespawanej szczeliny) jest nie mniejsza niż grubość t środnika złącza teowego, oraz że szerokość niezespawanej szczeliny jest nie większa niż mniejsza z wartości $(t/5)$ i 3mm.

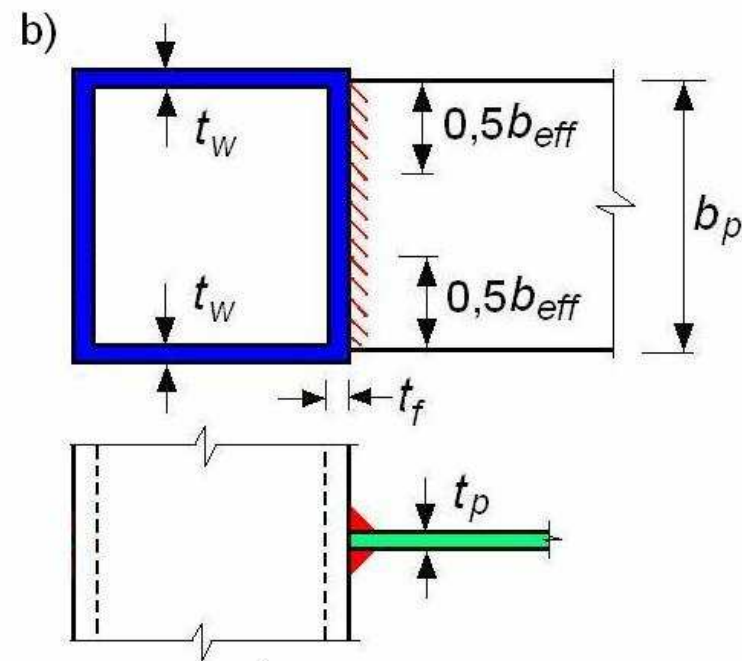
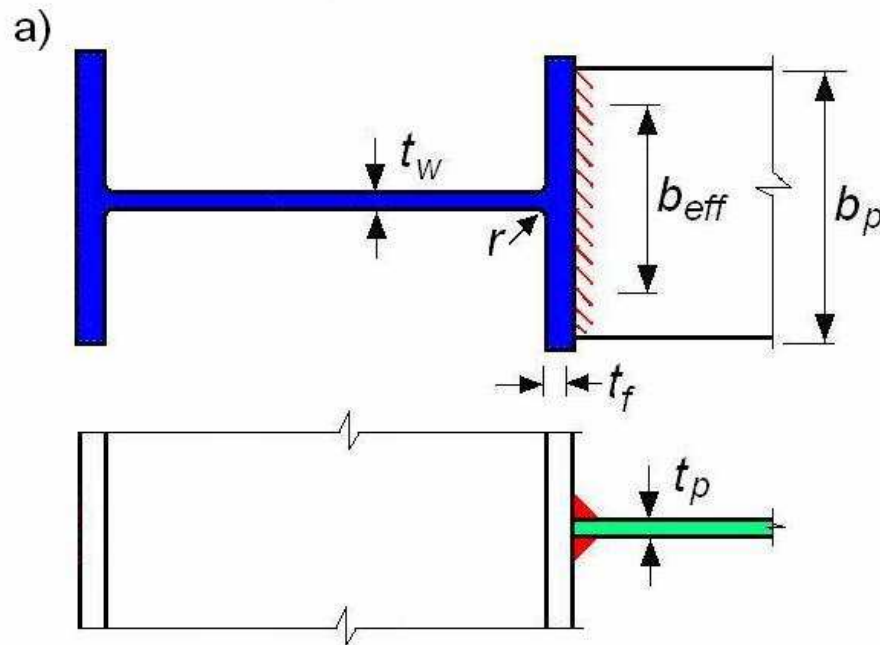
Jeśli nie są spełnione te wymagania, to ich grubość ustala się jak dla spoin pachwinowych z głębokim przetopem, a nośność obliczeniową spoin należy obliczać jak w przypadku spoin czołowych z niepełnym przetopem.



Połączenia z pasami bez żeber

W przypadku połączenia poprzecznej blachy (lub pasa belki) z nieużebrowanym pasem dwuteownika I, H lub innego kształtownika, i założeniu, że jest spełniony warunek (4.7), siła przekazywana prostopadłe na pas nie powinna przekroczyć żadnej z właściwych nośności obliczeniowych:

- nośności środnika dwuteownika I lub H wg 6.2.6.2 lub 6.2.6.3;
- nośności połączenia blachy pasa z rurowym pasem RHS wg tabl. 7.13;
- nośności pasa na szerokości efektywnej pasa b_{eff} , jak podano, odpowiednio w 4.10(2) lub 4.19(4).



W przypadku nieuźebrowanych dwuteowników I lub H efektywna szerokość jest określona wzorem:

$$b_{eff} = t_w + 2s + 7kt_f$$

$$k = (t_f / t_p)(f_{y,f} / f_{y,p}) \leq 1$$

$f_{y,f}$ - granica plastyczności pasa dwuteownika I lub H;

$f_{y,p}$ - granica plastyczności blachy przyspawanej do dwuteownika I lub H.

$s = r$ - w przypadku dwuteowników walcowanych I lub H;

$s = \sqrt{2}a$ - dla dwuteowników spawanych I lub H.

W przypadku nieuźebrowanego pasa dwuteownika I lub H powinien być spełniony warunek:

$$b_{eff} \geq (f_{y,p} / f_{u,p})b_p$$

$F_{u,p}$ – wytrzymałość na rozciąganie blachy przyspawanej do dwuteownika I lub H;

b_p – szerokość blachy przyspawanej do dwuteownika I lub H.

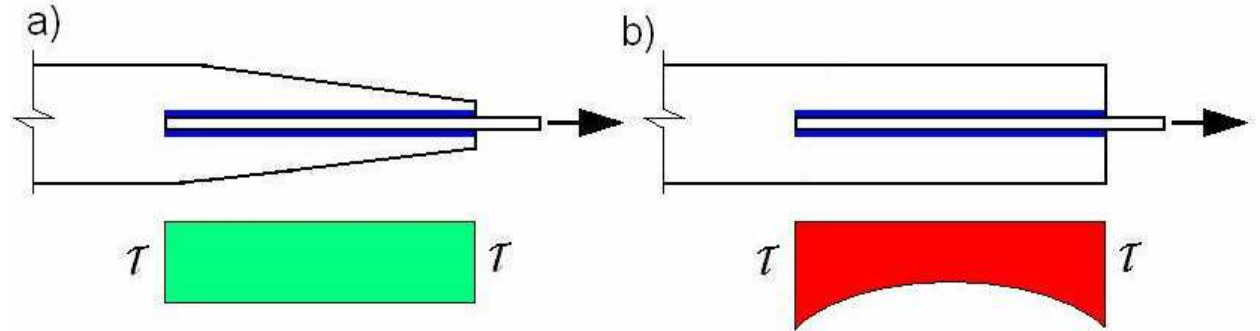
Gdy warunek nie jest spełniony, węzeł należy usztywnić.

W przypadku innych kształtowników, jak skrzynkowe lub ceowniki, gdy szerokość łącznej blachy jest zbliżona do szerokości pasa, efektywna szerokość określa jest wzorem

$$b_{eff} = 2t_w + 5t_f \text{ lecz } b_{eff} \leq 2t_w + 5kt_f$$

Złącza długie

W „długich” połączeniach zakładkowych nośność obliczeniową spoin zmniejsza się współczynnikiem redukcyjnym β_{Lw} uwzględniającym wpływ nierównomiernego rozkładu naprężeń na długości spoiny (nie dotyczy to połączenia środka z pasem w elemencie zginanym).



W połączeniach dłuższych niż $150a$: $\beta_{Lw} = \beta_{Lw,1} = \frac{1,2 - 0,2L_j}{150a} \leq 1,0$

W przypadku spoin pachwinowych dłuższych niż 1,7 m łączących żebra poprzeczne w elementach spawanych z blach, przyjmuje się współczynnik redukcyjny:

$$\beta_{Lw} = \beta_{Lw,2} = 1,1 - \frac{L_w}{17} \leq 1,0 \quad \text{oraz} \quad \beta_{Lw,2} \geq 0,6$$

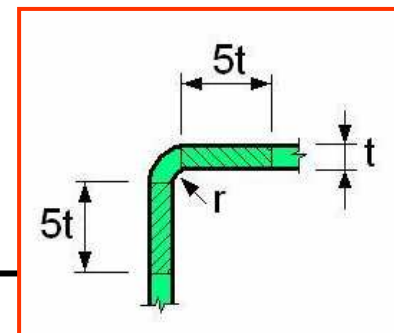
L_j – całkowita długość zakładki w kierunku przekazywania siły,

L_w – długość spoiny (w metrach).

Spawanie w pobliżu stref zgniotu

Można spawać w strefie zgniotu o szerokości $5t$ po obu stronach strefy gięcia na zimno, gdy spełnione są wymagania podane w tablicy oraz spełniony jest przynajmniej jeden z następujących warunków:

- strefa zgniotu na zimno została znormalizowana po odkształceniu i przed spawaniem;
- stosunek r/t spełnia wymagania podane w tablicy.



r/t	Wydłużenie przy formowaniu na zimno [%]	Największa grubość [mm]		
		ogólnie		Stal uspokojona całkowicie [Al $\geq$ 0,02%]
		Obciążenie przerażająco statyczne	Obciążenie zmęczeniowe	
≥ 25	≤ 2	dowolna	dowolna	dowolna
≥ 10	≤ 5	dowolna	16	dowolna
$\geq 3,0$	≤ 14	24	12	24
$\geq 2,0$	≤ 20	12	10	12
$\geq 1,5$	≤ 25	8	8	10
$\geq 1,0$	≤ 33	4	4	6