

Systemy transportu bliskiego

Dźwignice

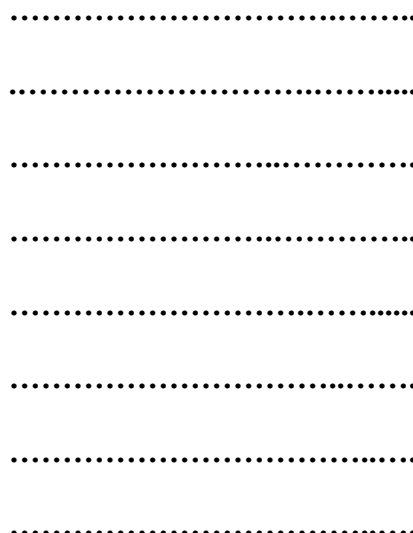


Ogólne zasady projektowania (wybrane zagadnienia)

- 1) złącza spawane – obliczanie wg. PN-88/M-06516
- 2) złącza nitowane i śrubowe – obliczanie wg. PN-91/M-06517



Motto prezentacji
„Repetitio est mater studiorum”



Projektowanie i obliczanie złączy spawanych - klasyfikacja złączy spawanych

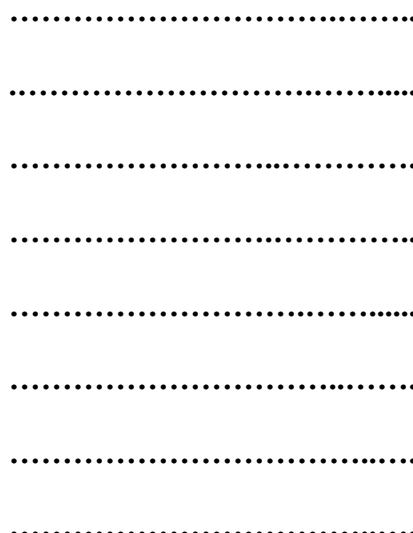
Celem obliczeń wg. PN-88/M-06516 oraz PN-91/M-06517 jest teoretyczne wykazanie, że złącza spawane w urządzeniach nośnych **dźwignic zostały zaprojektowane zgodnie z wymaganiami bezpieczeństwa**, które zabezpieczają ją przed zagrożeniami mechanicznymi, przy uwzględnieniu warunków użytkowania, uzgodnionych między użytkownikiem, projektantem i/lub wytwórcą, a także warunków montażu, demontażu i transportu.

Klasyfikacja złączy spawanych w urządzeniach nośnych dźwignic:

- ❖ różnią się 5 klas złączy spawanych w zależności od poziomu ich obciążenia (A, B, C, D oraz E)
- ❖ oraz 2 rodzaje złączy spawanych w zależności od zakresów kontroli ich jakości wykonania:
 - a) normalnej jakości oraz b) specjalnej jakości.

Rodzaj ustroju nośnego dźwigni	Poziom obciążenia złącza spawanego (stosunek naprężeń w złączu do wytrzymałości obliczeniowej lub zmęczeniowej)		
	Poniżej 50% lub złącza nie obliczane wytrzymałościowo	50% - 80%	powyżej 80%
	klasa złącza spawanego		
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek wytrzymałości wg PN-79/M-06515	E	E	E ⁽¹⁾ lub D
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek trwałości wg PN-79/M-06515 p. 3.3 zaliczone do grup natężenia pracy 1U, 2U, 3U i 4U	E	D	A i C
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek trwałości wg PN-79/M-06515 p. 3.3 zaliczone do grup natężenia pracy 5U i 6U	E	C	A i B

⁽¹⁾ – dla spoin ściskanych i ścinanych



Projektowanie i obliczanie złączy spawanych – materiały, kontrola jakości złączy

Materiały do spawanie (elektrody otulone, druty i topniki) – powinny być dobierane w zależności od gatunku stali, grubości łączonych elementów, warunków i temperatury pracy dźwigni oraz technologii spawania.

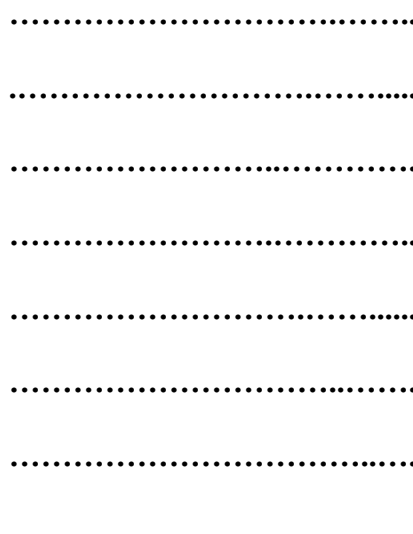
Własności mechaniczne stopiwa (wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności, udarność) nie powinny być gorsze od odpowiednich własności łączonych materiałów stali.

Metoda przeprowadzania kontroli jakości złączy spawanych:

- a) **ogłędziny zewnętrzne** – wg. PN-85/M-69775 (podstawowa metoda dla wszystkich złączy)
- b) **badania radiograficzne** – wg. PN-87/M-697752 (zalecana do spoin czołowych w złączach doczołowych)
- c) **badania ultradźwiękowe** – wg. PN-88/M-69777 (zalecana do spoin czołowych w złączach doczołowych oraz dla spoin równych lub większych niż 10 mm)
- d) **inne badania nieniszczące**

Klasa złącza	Metoda przeprowadzania kontroli jakości			
	ogłędziny zewnętrzne		badania radiograficzne ²⁾ lub ultradźwiękowe ³⁾	
	zakres kontroli	dopuszczalna klasa wadliwości	zakres kontroli	dopuszczalna klasa wadliwości
A	100%	W1 (W2) ¹⁾	100%	R1 lub U1
B		W2 (W3) ¹⁾	50%	R2 lub U2
C		W3 (W4) ¹⁾	25%	R3 lub U3
D		W4	10%	R4 lub U4
E		W4	- ⁴⁾	- ⁴⁾

¹⁾ dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych
²⁾ nie dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych
³⁾ Nie dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych o grubości poniżej 10mm
⁴⁾ nie jest wymagana kontrola radiograficzna lub ultradźwiękowa

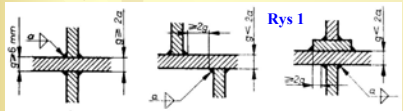


Projektowanie i obliczanie złączy spawanych - zasady ogólne

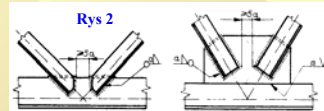
Zasady ogólne: złącza spawane w stalowych urządzeniach nośnych dźwignic, powinny spełniać warunek wytrzymałości W lub warunek trwałości T wg PN-EN.

Przy projektowaniu muszą być spełnione zasady:

- wpływ karbu powinien być jak najmniejszy, a środki ciężkości spoin winny pokrywać się ze środkami ciężkości łączonych elementów;
- należy unikać nadmiernego skupiania spoin w złączy, lub małej odległości między sąsiednimi spoinami (poprawne rozwiązania na rys. 1 i 2)

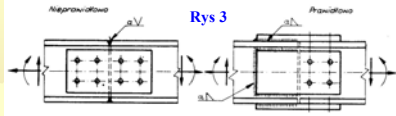


Rys 1



Rys 2

- należy unikać połączeń mieszanych, to znaczy jednoczesnego przeniesienia sił wewnętrznych w jednym przekroju przez złącza spawane oraz nitowane lub śrubowe (rys 3)



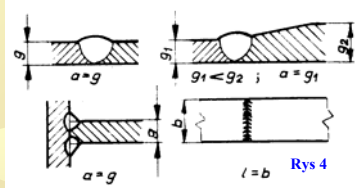
Rys 3

- należy unikać złączy doczołowych przy łączeniu kształtowników walcowanych (zwłaszcza dwuteowników, ceowników i kątowników)
- w urządzeniach zakwalifikowanych do 5U oraz 6U nie zaleca się stosowanie złączy przerywanych

Projektowanie i obliczanie złączy spawanych - wymiarowanie spoin

Spoiny czołowe w złączach doczołowych i teowych:

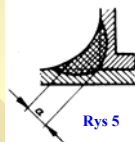
- grubość obliczeniowa spoin czołowych a należy przyjmować równą grubości elementów łączonych, a w przypadku łączenia elementów o różnej grubości – równą grubości cieńszego elementu (rys 4),
- długość obliczeniowa spoin czołowych l należy przyjmować równą szerokości elementów łączonych, przy czym spoina nie powinna mieć kraterów końcowych (np. przez wprowadzenie spoiny na płytki wybiegowe), przy doczołowym styku blach o różnej grubości zaleca się ukosowanie grubszej blachy (pochylenie 1:3 przy styku niesymetrycznym i 1:2 przy styku symetrycznym), tak aby jej grubość w miejscu styku równa była grubości blachy cieńszej



Rys 4

Spoiny pachwinowe:

- grubość obliczeniowa spoin pachwinowych a_{obl} należy przyjmować równą wysokości a trójkąta wpisane w przekrój spoiny (rys 5)



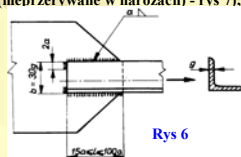
Rys 5

Projektowanie i obliczanie złączy spawanych - wymiarowanie spoin

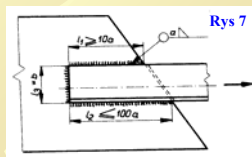
Spoiny pachwinowe:

- długość obliczeniowa spoin pachwinowych l w złączy, przy sprawdzaniu warunku wytrzymałości W wg PN-EN, należy przyjmować równą długości wszystkich spoin, jeżeli poszczególne odcinki spoin l_i nie są krótsze niż 40mm oraz spełnione są warunki:

- $15a \leq l_i \leq 100a$, gdy w złączy występują tylko spoiny pachwinowe podłużne względem kierunku obciążenia - rys 6;
- $10a \leq l_i \leq 100a$, gdy w złączy występują ciągłe spoiny pachwinowe podłużne i poprzeczne (nieprzerwane w narożach) - rys 7);



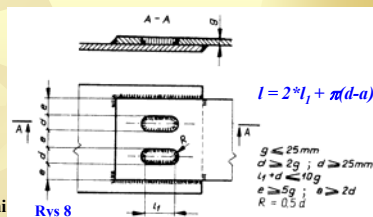
Rys 6



Rys 7

- Przy sprawdzaniu warunku trwałości T wg PN-EN, długość obliczeniowa spoin pachwinowych l w złączy, należy przyjmować równą długości wszystkich spoin podłużnych względem kierunku obciążenia (spoin poprzecznych nie uwzględnia się)

- Spoiny pachwinowe w otworach winny spełniać warunki podane na rys 8, przy czym g jest grubością elementu z otworami



Rys 8

Warunek wytrzymałości złącz spawanych

Dobre przekroje spoin, przy jednokrotnym wystąpieniu obciążeń obliczeniowych – **przypadek W** - (uwzględniających współczynnik obciążenia γ_f wg PN-86/M-06514) powinny spełniać warunek:

gdzie:

- σ_o – największe co do bezwzględnej wartości naprężenia (normalne σ_o lub styczne τ_o) w ustroju nośnym wywołane obciążeniami odpowiednio skojarzonymi dla przypadku **W** [Pa];
- R_o – ogólnie oznaczona wytrzymałość obliczeniowa, w tym: R_{ot} - materiału podstawowego na rozciąganie, ściskanie i zginanie; R_{ot} – wytrzymałość na ścinanie; R_{ot} lub $R_{ot,off}$ na docisk dla materiału podstawowego; R_{os} - materiału spoin; R_{os} - materiału nitów; R_{osr} lub R_{oss} - dla materiałów śrub odpowiednio zwykłych i sprężających;
- m – ogólnie oznaczony współczynnik stateczności elementów ściskanych, w tym: m_w – współczynnik wyoboczeniowy; m_z – współczynnik zwichrzenia; m_s – współczynnik stateczności miejscowej

W przypadku jednoczesnego wystąpienia naprężenia normalnego σ_o i naprężenia stycznego τ_o dobre przekroje powinny spełnić warunek:

$$\left(\frac{\sigma_o}{R_o}\right)^2 + \left(\frac{\tau_o}{R_{ot}}\right)^2 \leq 1,10$$

A w przypadku jednoczesnego występowania naprężeń normalnych, dwuosiowych (σ_{ox} i σ_{oy}) i naprężenia stycznego τ_o dobre przekroje powinny spełnić warunek:

$$\left(\frac{\sigma_{ox}}{R_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{oy}}{R_{oy}}\right)^2 - \frac{\sigma_{ox} \cdot \sigma_{oy}}{R_{ox} \cdot R_{oy}} + \left(\frac{\tau_o}{R_{ot}}\right)^2 \leq 1,10$$

gdzie:

- R_{ox} ; R_{oy} ; R_{ot} – ogólnie oznaczona wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie w kierunku x i y [Pa]
- R_{ot} – ogólnie oznaczona wytrzymałość obliczeniowa na ścinanie [Pa]

Warunek wytrzymałości- wytrzymałość obliczeniowa spoin

Wytrzymałość obliczeniowa spoin R_{os} ustala się w zależności od przyjętej dla łączonej stali wytrzymałości obliczeniowej R_s , mnożąc ją przez współczynnik s zależny od rodzaju naprężeń występujących w spoinie (przy połączeniu dwóch gatunków stali wytrzymałość obliczeniową spoin R_{os} określa się biorąc pod uwagę stal o mniejszej wytrzymałości)

Rodzaj spoiny	Rodzaj naprężeń w spoinie	Współczynnik s
czołowe	ściskane osiowo i ściskane przy zginaniu	1,0
	rozciągane osiowo i rozciągane przy zginaniu, przy spawaniu automatycznym i ręcznym z kontrolą jakości spoin	1,0
	a) metodą radiograficzną lub ultradźwiękową b) metodą oględzin zewnętrznych	0,8
pachwinowe	ścinięcie	0,6
	ścinięcie	0,7

Stan przekroczenia wytrzymałości obliczeniowej, zmniejszenie wytrzymałości

W przypadku gdy naprężenia przekroczą wytrzymałość obliczeniową **nie więcej niż o 2% dozwolone jest pozostawienie zaprojektowanych przekrojów (§ 3.2.2.8)**

Zmniejszenie wytrzymałości obliczeniowej:

W przypadkach wyspecyfikowanych w tabeli 7, wytrzymałość obliczeniową należy zmniejszyć o odpowiedni współczynnik, przy czym **gdym analizowany stan konstrukcji dotyczy kilku przypadków, to współczynnik zmniejszający jest ich iloczynem.**

Lp	Element ustroju nośnego	Współczynnik zmniejszający
1	Spoiny pułapowe	0,80
2	Spoiny pachwinowe wykonane w kątach 60-80°	0,80
3	Nity o łbach płaskich i soczewkowych	0,80

Warunek trwałości – dobranie przekroju

Przekrój materiału podstawowego oraz spoin, (nitów i śrub) powinien być tak dobrany, aby przy wielokrotnym wystąpieniu obciążeń normalnych (nie uwzględniających współczynników obciążenia γ_f) odpowiednio skojarzonych dla przypadku **T** wg PN- 86/M-06514 został spełniony warunek:

gdzie:

- $|\sigma|$ – największe co do bezwzględnej wartości naprężenia (normalne σ lub styczne τ) w ustroju nośnym wywołane obciążeniami normalnymi odpowiednio skojarzonymi dla przypadku **T**, obliczone bez uwzględnienia współczynników stateczności
- R_z – ogólnie oznaczona wytrzymałość zmęczeniowa (materiału podstawowego na rozciąganie i ściskanie $R_{zm,r}$, na ścinanie $R_{zm,s}$ spoin $R_{zm,s}$ i śrub $R_{zm,śr}$) [Pa]

W przypadku jednoczesnego wystąpienia naprężenia normalnego σ i naprężenia stycznego τ przekrój materiału podstawowego, spoin, śrub powinien spełniać warunek:

$$\left(\frac{\sigma}{R_z}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{R_{zt}}\right)^2 \leq 1,10$$

A w przypadku występowania jednoczesnego naprężeń normalnych, dwuosiowych (σ_x i σ_y) i naprężenia stycznego τ dobre przekroje powinny spełniać następujący warunek:

$$\left(\frac{\sigma_x}{R_{zx}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{R_{zy}}\right)^2 - \frac{\sigma_x \cdot \sigma_y}{R_{zx} \cdot R_{zy}} + \left(\frac{\tau}{R_{zt}}\right)^2 \leq 1,10$$

gdzie:

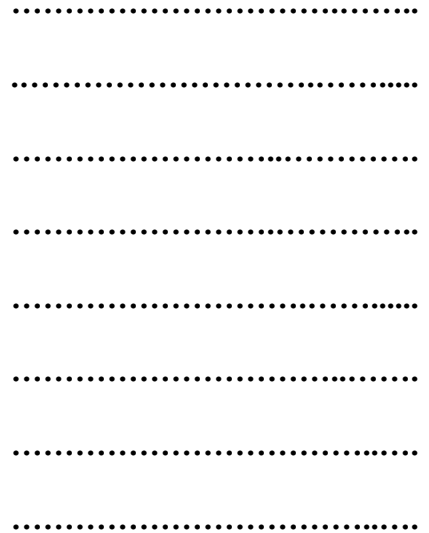
- R_z , R_{zx} , R_{zy} – ogólnie oznaczenie wytrzymałości zmęczeniowej na rozciąganie i ściskanie w kierunku x i y [Pa]
- R_{zt} – ogólnie oznaczenie wytrzymałości zmęczeniowej na ścinanie

uwaga: nie wymaga się sprawdzenia warunków trwałości w przypadku, gdy wytrzymałość zmęczeniowa T_z jest wyższa od wytrzymałości obliczeniowej.

Wytrzymałość zmęczeniową ustroju nośnego lub jego elementu należy obliczać w zależności od: **gatunku stali, rodzaju karbu, współczynnika asymetrii naprężeń i grupy natężenia pracy ustroju nośnego dźwigni.** **Rodzaj karbu** – w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego ustroju nośnego różni się następujące rodzaje karbów: - karby pochodzenia mechanicznego – W0, W1, W2; - karby pochodzenia spawalniczego – K0, K1, K2, K3 i K4.

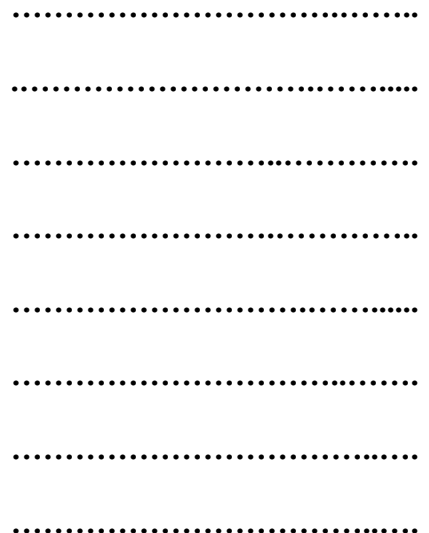
Warunek trwałości – wytrzymałość zmęczeniowa - karby pochodzenia spawalniczego

Rodzaj karbu	Opis karbu (wybrane przykłady)	Rysunek (znak, klasa złącza)
Karb K0	a) spoina czołowa specjalnej jakości prostopadła do kierunku działania sił łącząca blachy tej samej grubości lub zróżnicowanej grubości	
	b) spoina czołowa specjalnej jakości łącząca blachy środknika	
	c) spoina czołowa specjalnej jakości równoległa do kierunku działania sił	
	d) spoina czołowa normalnej jakości równoległa do kierunku działania sił, łącząca blachy środknika z pasami	
	e) spoina czołowa K lub V normalnej jakości równoległa do kierunku działania sił	
Rodzaj karbu	Opis karbu (wybrane przykłady)	Rysunek (znak, klasa złącza)
Karb K1	a) spoina czołowa normalnej jakości prostopadła do kierunku działania sił	



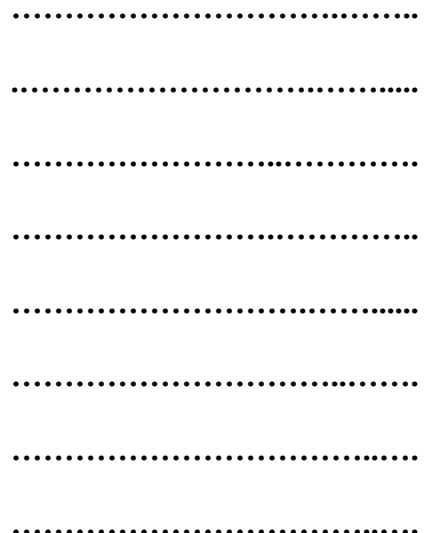
Warunek trwałości – wytrzymałość zmęczeniowa - karby pochodzenia spawalniczego

Rodzaj karbu	Opis karbu	Rysunek (znak, klasa złącza)
Karb K1	b) spoina czołowa normalnej jakości łącząca blachy środkników	
	c) spoina pachwinowa normalnej jakości równoległa do kierunku działania sił w łączonych elementach	
	d) element ciągły, na który prostopadłe do kierunku działania sił przyspawano tarczę, spoiną K lub V specjalnej jakości	
Karb K2	a) element ciągły z przyspawaną blachą o zaokrąglonych lub skośnych bokach, dwustronna spoina pachwinowa specjalnej jakości	
	b) spoina czołowa K lub V specjalnej jakości w złączeniu między środknikiem a pasem, obciążonym prostopadłą siłą w płaszczyźnie środknika	
	c) pasy i środkniki z przeponami lub żebrami o obciążonych narożach, przyspawane dwustronnie ciągłą spoiną pachwinową specjalnej jakości	
	d) spoina czołowa K lub V normalnej jakości, łącząca środknik z zakrzywionym pasem	



Warunek trwałości – wytrzymałość zmęczeniowa - karby pochodzenia spawalniczego

Rodzaj karbu	Opis karbu	Rysunek (znak, klasa złącza)
Karb K3	a) spoina czołowa jednostronna, na podkładce, prostopadła do kierunku działania sił oraz na podkładce w połączeniu rurowym	
	b) element ciągły połączony z podłużnym żebrzem lub środknikiem za pomocą spoin pachwinowych przerywanych normalnej jakości	
	c) element ciągły z przyspawanymi po obwodzie spoinami pachwinowymi, ciągłymi specjalnej jakości	
Karb K4	a) pasy i środkniki z przeponami lub żebrami przyspawanymi jednostronnie spoiną pachwinową normalnej jakości	
	b) element ciągły z przewiązkami przyspawanymi spoiną czołową lub pachwinową normalnej jakości, a także spoinami pachwinowymi otwartymi	
	c) spoina pachwinowa dwustronna normalnej jakości lub spoina 1/2V na podkładce, prostopadła do kierunku działania sił w złączeniu krzyżowym	



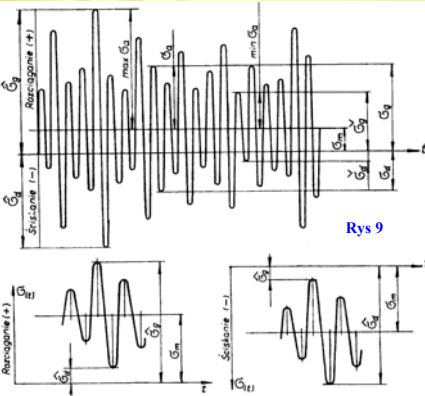
Wytrzymałość zmęczeniowa – współczynnik asymetrii naprężeń

Współczynnik asymetrii naprężeń - określa się biorąc pod uwagę najmniejsze ($\min \sigma$ lub $\min \tau$) i największe naprężenie ($\max \sigma$ lub $\max \tau$) występujące w rozpatrywanym punkcie ustroju - **złączu spawanym**, przy czym do licznika wstawia się naprężenie mniejsze co do bezwzględnej wartości, a do mianownika większe co do bezwzględnej wartości (rys 9):

$$r = \frac{\min \sigma}{\max \sigma} \quad r = \frac{\min \tau}{\max \tau}$$

$$\left. \begin{array}{l} \min \sigma = \sigma_d \\ \max \sigma = \sigma_g \end{array} \right\} \text{gdy } \left| \frac{\sigma_g}{\sigma_d} \right| \geq 1$$

$$\left. \begin{array}{l} \min \sigma = \sigma_g \\ \max \sigma = \sigma_d \end{array} \right\} \text{gdy } \left| \frac{\sigma_g}{\sigma_d} \right| < 1$$



Współczynnik asymetrii naprężeń zmienia się w granicach:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Przy **naprężeniach pulsujących** współczynnik asymetrii naprężeń jest wartością dodatnią:

$$0 \leq r \leq 1$$

a dla **naprężeń przemiennych** wartością ujemną

$$-1 \leq r \leq 0$$

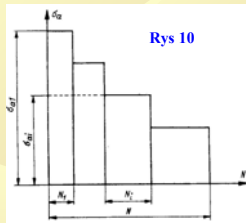
Wytrzymałość zmęczeniowa – grupa natężenia pracy ustroju nośnego

Ustroje nośne dźwignic ze względu na natężenie pracy dzieli się na szereg grup: 1U ... 6U. O zaliczeniu do odpowiedniej grupy decyduje **klasa liczby cykli** i **klasa obciążenia**. Klasy liczby cykli przyporządkowany jest zakres liczby cykli zmian naprężeń w ustroju nośnym w okresie eksploatacji dźwigni. Klasy obciążenia przyporządkowany jest zakres wartości współczynnika obciążenia K_p .

Klasa liczby cykli	Liczba cykli zmian naprężeń
N1	$N \leq 2 \cdot 10^5$
N2	$2 \cdot 10^5 < N \leq 6 \cdot 10^5$
N3	$6 \cdot 10^5 < N \leq 2 \cdot 10^6$
N4	$2 \cdot 10^6 < N \leq 6 \cdot 10^6$
N5	$6 \cdot 10^6 < N \leq 2 \cdot 10^7$
N6	$N > 2 \cdot 10^7$

$$K_p = \sqrt[m]{\sum \left(\frac{\sigma_{ai}}{\max \sigma_{ai}} \right)^m} \cdot \frac{N_i}{N}$$

- σ_{ai} – kolejny poziom amplitudy naprężeń występujący N_i cykli zmian naprężeń
- $\max \sigma_a$ – maksymalna amplituda naprężeń
- N – liczba cykli zmian naprężeń w okresie eksploatacji dźwigni
- $m = 3,5$ – dla ustrojów nośnych spawanych;
- $(m = 7)$ – dla ustrojów nośnych nitowanych i śrubowych



W ogólnym przypadku poszczególne elementy (zespoły) ustroju nośnego mogą charakteryzować się różnymi klasami liczby cykli i klasami obciążenia (rys 10).

Klasa obciążenia	Klasa liczby cykli					
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
	Grupa natężenia pracy					
P1	1U	2U	3U	4U	5U	6U
P2	2U	3U	4U	5U	6U	6U
P3	3U	4U	5U	6U	6U	6U
P4	4U	5U	6U	6U	6U	6U

Klasa obciążenia	Współczynniki obciążenia	
	Ustroje spawane	Ustroje nitowane i łączone śrubami
P1	$K_p \leq 0,28$	$K_p \leq 0,38$
P2	$0,28 < K_p \leq 0,49$	$0,38 < K_p \leq 0,52$
P3	$0,49 < K_p \leq 0,74$	$0,52 < K_p \leq 0,75$
P4	$0,74 < K_p \leq 1$	$0,75 < K_p \leq 1$

Wytrzymałość zmęczeniowa R_z

Wytrzymałość zmęczeniową R_z wyznacza się:

dla współczynników naprężeń: $-1 \leq v \leq 0$

a) rozciąganie, gdy: $\left| \frac{\sigma_g}{\sigma_d} \right| \geq 1$ to $R_z = \frac{5}{3-2 \cdot r} \cdot n_p \cdot R_w$

b) ściskanie, gdy: $\left| \frac{\sigma_g}{\sigma_d} \right| < 1$ to $R_z = \frac{2}{1-r} \cdot n_p \cdot R_w$

dla współczynników naprężeń: $0 \leq v \leq 1$

a) rozciąganie $R_z = \frac{\frac{5}{3} \cdot n_p}{1 - \left(1 - \frac{\frac{5}{3} \cdot R_w \cdot n_p}{0,75 \cdot R_m} \right) \cdot r} \cdot R_w$

b) ściskanie $R_z = \frac{2 \cdot n_p}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot R_w \cdot n_p}{0,90 \cdot R_m} \right) \cdot r} \cdot R_w$

gdzie:

R_w – trwała wytrzymałość zmęczeniowa określona na bazie $2 \cdot 10^6$ cykli zmian naprężeń przy stałej amplitudzie naprężeń ($\sigma_a = \text{const}, p=1$) i przy współczynniku asymetrii naprężeń $r=-1$ (wytrzymałość Wöhlera), zależna od rodzaju karbu wg tablic.

n_p – współczynnik natężenia pracy ustroju nośnego zależny od grupy natężenia pracy 1U ... 6U (wg tablic)

R_m – minimalna wytrzymałość stali na rozciąganie wg tablic

Wytrzymałość zmęczeniowa złącza spawane R_z – (tablice)

Współczynnik natężenia pracy ustroju nośnego n_p w funkcji rodzaju karbu spawalniczego oraz grupy natężenia pracy:

Grupa natężenia pracy ustroju nośnego	Współczynnik natężenia pracy ustroju nośnego n_p
	Rodzaj karbu K0, K1, K2, K3, K4
1U	5,64
2U	4,00
3U	2,82
4U	2,00
5U	1,41
6U	1,00

Rodzaj karbu	Wytrzymałość obliczeniowa (Wöhlera) R_w [N/mm ²]
K0	84
K1	75
K2	63
K3	45
K4	27

Wytrzymałość obliczeniowa (Wöhlera) R_w w funkcji rodzaju karbu spawalniczego:

Rodzaj		Wytrzymałość zmęczeniowa	
spoiny	naprężeń	spoiny	materiału
Człowe	rozciąganie i ściskanie	$R_{zn} = R_z$	R_z
	ściananie	$R_{zn} = 0,6 \cdot R_z$	R_z
pachwinowe	ściananie	$R_{zn} = 0,7 \cdot R_z$	

Wytrzymałość zmęczeniowa spoin:

Ogólne wytyczne określania liczby cykli zmian naprężeń i współczynników obciążenia

Naprężenia w ustrojach nośnych dźwigni dla przypadku **T** wywołane są działaniem obciążeń stałych i ruchowych. Zmiany naprężeń w czasie powstają wyłącznie na skutek działania sił ruchowych.

Specyfikacja obciążeń ruchowych:

- a) **quazystatyczne (wolnozmiennne)** – siły ciężkości podnoszonego ładunku i elementów dźwigni zmieniających swoje położenie względem rozpatrywanej części ustroju
- b) **dynamiczne (szybkozmiennne)** – siły dynamiczne podnoszenia, ruchów torowych, bezwładności, boczne ruchy torowych, obciążenia szczególne, powstające w czasie eksploatacji dźwigni specjalnych.

Liczba cykli zmian naprężeń w okresie eksploatacji: $N = n_o \cdot C$

gdzie: n_o – liczba cykli zmiany w czasie 1 cyklu pracy dźwigni

$$n_o = 2 \text{ dla } \beta \leq 0,2 \text{ lub } n_o = 6 \text{ dla } 0,2 < \beta \leq 1 \text{ lub } n_o = 20 \text{ dla } \beta > 1$$

$$\beta = \frac{\max \sigma_d}{\max \sigma_q - \min \sigma_q}$$

w którym:
 σ_d – największe naprężenie od jednego z obciążeń dynamicznych;
 $\max \sigma_q, \min \sigma_q$ – największe i najmniejsze naprężenie w rozpatrywanym elemencie od obciążeń quazystatycznych

C – liczba cykli pracy dźwigni w okresie eksploatacji wg. PN-79/M-06503

Współczynniki obciążenia K_p dla normalnych rozkładów naprężeń w **ustrojach spawanych** (w przypadku braku informacji o rozkładzie amplitud naprężeń, należy założyć, że jest on rozkładem normalnym, i wówczas:

$$K_p = 0,09 \cdot p^2 + 0,63 \cdot p + 0,28$$

gdzie:

$$p = \frac{\min \sigma_a}{\max \sigma_a} \quad \max \sigma_a = 0,5(\max \sigma_q - \min \sigma_q) + \max \sigma_d \quad \min \sigma_a = 0,5((\max \sigma_q^* - \min \sigma_q^*))$$

$\max \sigma_q^*, \min \sigma_q^*$ – największe i najmniejsze naprężenia od obciążeń quazystatycznych

Projektowanie złączy nitowanych i śrubowych

Celem obliczeń wg. PN-88/M-06516 oraz PN-91/M-06517 jest teoretyczne wykazanie, że złącza nitowane lub śrubowe w ustrojach nośnych **dźwignie zostały zaprojektowane zgodnie z wymaganiami bezpieczeństwa**, które zabezpieczają ją przed zagrożeniami mechanicznymi, przy uwzględnieniu warunków użytkowania, uzgodnionych między użytkownikiem, projektantem i/lub wytwórcą, a także warunków montażu, demontażu i transportu.

Zalecenia konstrukcyjne:

➤ sumaryczna grubość Σ łączonych części (blach) powinna spełniać warunki:

$\Sigma \leq 5d$ – w połączeniach śrubowych lub nitowanych pasowanych

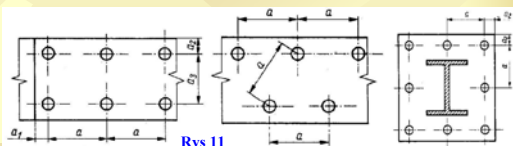
$\Sigma \leq 5d$ – w połączeniach śrubowych sprężanych

gdzie: d – średnica łącznika (nita lub śruby)

➤ średnice otworów na nity i śruby:

- otwory na nity zaleca się przyjmować o 1 mm większe niż średnica nita
- otwory na śruby pasowane przyjmuje się równe średnicy trzpienia śruby z pasowaniem nie luźniejszym niż H11/h11
- otwory na śruby o wysokiej wytrzymałości w połączeniach sprężanych przyjmuje się 1 mm większe niż średnica śruby z gwintem do M20 oraz 2 mm większe dla śrub z gwintem powyżej M20

➤ łączniki w połączeniach nakładkowych i zakładkowych: należy odpowiednio rozmieszczać, zachowując ogólna zasady zgodne z rys 11 i tabelą 12.



Rys 11

Projektowanie złącz nitowanych i śrubowych

Odległość, rozstaw łączników	Oznaczenie wg rysunku rys 11	Graniczne odległości w połączeniach nitowanych i śrubowych	
		minimum	maksimum
Odległość od czoła blachy w kierunku obciążenia	a_1	$2d$	$12t^{0,5}$ $\leq 150 \text{ mm}$
Odległość od krawędzi bocznej blachy	a_2	$1,5d$	
Rozstaw szeregów	a_3	$2,5d$	$14t$ $\leq 200 \text{ mm}$
Rozstaw łączników w szeregu	a		$2a_{3\text{max}} - a_3$

d – średnica łącznika, mm;
 t – grubość najcieńszej blachy łączonej, mm; należy uwzględnić wartość mniejszą.
¹⁾ W przypadku połączeń szczelnych należy przyjmować $6t$.

Zalecenia konstrukcyjne:

➤ odległość łącznika w połączeniach doczołowych od krawędzi bocznej blachy powinna wynosić $1,5d \leq a_2 \leq 6t$, a odległość między śrubami $2,5d \leq a \leq 15t$. Gdzie: t – grubość blachy czołowej.

➤ Grubość blachy czołowej w połączeniach śrubowych doczołowych należy obliczać wg wzoru:

$$t \geq t_{\min} = 1,25 \cdot d \cdot \sqrt[3]{\frac{R_m}{1000}} \quad \text{gdzie: } d - \text{średnica śruby w [mm]} \\ R_m - \text{granica wytrzymałości materiału śruby w [MPa]}$$

➤ Liczba łączników w połączeniu nie może być mniejsza niż dwa, w jednym szeregu nie należy stosować więcej niż sześć łączników.

➤ Przygotowanie powierzchni ciernych dla złączy wykonać przez odpowiednią obróbkę mechaniczną, lub piaskowanie albo śrutowanie.

Obliczanie złącz nitowanych i śrubowych – wymagania ogólne – warunek W

Warunek wytrzymałości: przekrój i liczbę łączników należy tak dobrać, aby przy jednokrotnym wystąpieniu obciążenia obliczeniowych, odpowiednio skojarzonych dla przypadku W, spełniony był warunek:

$$F^0 \leq S_R^0$$

w którym:

- F^0 – ogólnie oznaczona siła działająca na łącznik, wywołana obciążeniami obliczeniowymi, odpowiednio skojarzonymi dla przypadku W, a w tym: siła rozciągająca – F_t^0 ; siła poprzeczna F_v^0
- S_R^0 – ogólnie oznaczona nośność obliczeniowa łącznika, a w tym ścinanie trzpienia – S_{Rv}^0 ; uplastycznienie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu – S_{Rb}^0 ; zerwanie trzpienia lub rdzenia łącznika – S_{Rt}^0 ; poślizg styku sprężonego – S_{RS}^0 ; rozwarcie styku sprężonego – S_{Rr}^0

Przy jednoczesnym obciążaniu łącznika siłami: rozciągającą F_t^0 i poprzeczną F_v^0 powinien być spełniony warunek:

$$\left(\frac{F_t^0}{S_{R1}^0}\right)^2 + \left(\frac{F_v^0}{S_{Rv}^0}\right)^2 \leq 1$$

Nośność obliczeniowa nitów: należy obliczać wg. zależności:

➤ ścinanie trzpienia: $S_{Rv}^0 = 0,45 \cdot R_m \cdot A_0 \cdot m$

➤ uplastycznienie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu $S_{Rb}^0 = R_d \cdot d_0 \cdot \sum t$

➤ zerwanie trzpienia $S_{Rt}^0 = 0,3 \cdot R_m \cdot A_0$

w których: R_m – granica wytrzymałości materiału nitu [MPa]; R_d – wytrzymałość obliczeniowa na docisk powierzchni materiału ustroju nośnego [MPa]; A_0 – powierzchnia przekroju nitu po wypełnieniu otworu [mm²]; Σ – sumaryczna grubość blach podlegających dociskowi w tym samym kierunku [mm]; d_0 – średnica otworu [mm]; m – liczba płaszczyzn ścinania; (uwaga: nie zaleca się stosować połączeń, w których nity są wyłącznie rozciągane)

Obliczanie złącz śrubowych – wymagania ogólne warunek W

Nośność obliczeniową śrub pasowanych: należy obliczać wg. zależności:

➤ ścinanie trzpienia: $S_{Rv}^0 = 0,45 \cdot R_m \cdot A_v \cdot m$

➤ uplastycznienie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu $S_{Rb}^0 = R_d \cdot d_1 \cdot \sum t$

➤ zerwanie rdzenia $S_{Rt}^0 = 0,65 \cdot R_m \cdot A_s$ lub $S_{Rt}^0 = 0,85 \cdot R_e \cdot A_s$

w których: R_m – granica wytrzymałości materiału śruby [MPa]; R_e – granica plastyczności materiału śruby [MPa]; R_d – wytrzymałość obliczeniowa na docisk powierzchni materiału ustroju nośnego [MPa]; A_v – powierzchnia przekroju trzpienia śruby pasowanej [mm²]; Σ – sumaryczna grubość blach podlegających dociskowi w tym samym kierunku [mm]; m – liczba płaszczyzn ścinania;

Nośność obliczeniową śrub o wysokiej wytrzymałości w połączeniach sprężanych: należy obliczać wg. wzoru:

➤ zerwanie rdzenia: $S_{Rt}^0 = 0,65 \cdot R_m \cdot A_s$ lub $S_{Rt}^0 = 0,85 \cdot R_e \cdot A_s$

➤ rozwarcie styku sprężonego $S_{Rr}^0 = 0,6 \cdot S_{Rt}^0$

➤ poślizg styku sprężonego: $S_{RS}^0 = \mu(S_{Rt}^0 - F_t^0) \cdot m_0$

w których: R_m – granica wytrzymałości materiału śruby [MPa]; R_e – granica plastyczności materiału śruby [MPa]; A_s – powierzchnia przekroju czynnego rdzenia śruby [mm²]; m_0 – liczba płaszczyzn ścinania; μ – współczynnik tarcia; F_t^0 – siła rozciągająca śrubę; (dla powierzchni styku przygotowanych przez piaskowanie lub śrutowanie $\mu=0,45$)

Warunek wytrzymałości- wytrzymałość obliczeniowa śrub

Wytrzymałość obliczeniowa dla śrub R_{osr} ustala się wg wytycznych normowych (tablica 5)

Rodzaj naprężeń w śrubie	Wytrzymałość obliczeniowa połączeń śrubowych R_{osr} [N/mm ²]				Minimalna granica plastyczności $R_{e, min}$ [N/mm ²]
	pasowanych		Zwykłych		
	Klasa śrub wg PN-82/M-82054/03				
Docisk otworu na rzut	3.6	5.6	3.6	5.6	Re < 220
	320	---	230	---	220 ≤ Re < 320
	380	400	270	280	Re ≥ 320
ściananie	---	600	---	400	Re < 220
	170	---	120	---	220 ≤ Re < 320
	190	270	135	180	Re ≥ 320
rozciąganie	---	300	---	200	dla wszystkich gatunków stali
	160	240	160	240	dla wszystkich gatunków stali

pasowanie trzpienia śruby z otworem konstrukcji h1/H11

Wytrzymałość obliczeniowa dla śrub sprężających R_{oss} ustala się wg wytycznych normowych (tablica 6)

Klasa własności mechanicznych dla śrub wg PN-82/M-82054/03	Wytrzymałość obliczeniowa śrub sprężających R_{oss} [N/mm ²]
8.9	510
10.9	720
12.9	860

Wytrzymałość obliczeniowa dla nitów R_{on} ustala się wg wytycznych normowych (tablica 4)

Rodzaj naprężeń w nicie	Wytrzymałość obliczeniowa nitów R_{on} [N/mm ²]		Minimalna granica plastyczności $R_{e, min}$ [N/mm ²]
	St2N oraz St3N	St4N	
docisk otworu na rzut	340	---	Re < 220
	420	440	220 ≤ Re < 320
	---	600	Re ≥ 320
ściananie	180	270	Re < 220
	210	270	220 ≤ Re < 320
	---	300	Re ≥ 320
rozciąganie	105	150	dla wszystkich gatunków stali

Warunek trwałości T – złącza nitowane i śrubowe

Dobranie przekroju i liczby łączników: przekrój i liczbę łączników należy tak dobrać, aby przy wielokrotnym wystąpieniu obciążeń charakterystycznych, odpowiednio skojarzonych dla przypadku T, spełniony został warunek:

$$F_v^c \leq S_z^c$$

w którym: F_v^c – siła poprzeczna działająca na łącznik, wywołana obciążeniami charakterystycznymi odpowiednio skojarzonymi dla przypadku T; S_z^c – ogólnie oznaczona nośność zmczeniowa łącznika, S_{zvj}^c – ścinanie trzpienia, S_{zbl}^c – zniszczenie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu;

Nośność zmczeniowa nitów, należy obliczać z zależności:

- a) ścinanie trzpienia: $S_{zvj}^c = R_{zv} \cdot A_0 \cdot m$ b) zniszczenie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu: $S_{zbl}^c = R_{zb} \cdot d_0 \cdot \sum t$

w którym: R_{zv} – wytrzymałość zmczeniowa nitu na ścinanie trzpienia [MPa]; R_{zb} – wytrzymałość zmczeniowa przy docisku trzpienia do ścianki otworu [MPa]; A_0 – powierzchnia przekroju nitu po wypełnieniu otworu [mm²]; d_0 – średnica otworu [mm]; $\sum t$ – sumaryczna grubość blach podlegających dociskowi, w tym samym kierunku [mm]; m – liczba płaszczyzn ścinania;

Nośność zmczeniowa śrub pasowanych, należy obliczać z zależności:

- a) ścinanie trzpienia: $S_{zv}^c = R_{zv} \cdot A_v \cdot m$ b) zniszczenie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu: $S_{zb}^c = R_{zb} \cdot d_1 \cdot \sum t$

w którym: R_{zv} – wytrzymałość zmczeniowa śruby pasowanej na ścinanie trzpienia [MPa]; R_{zb} – wytrzymałość zmczeniowa przy docisku trzpienia do ścianki otworu [MPa]; A_v – powierzchnia przekroju trzpienia śruby pasowanej [mm²]; d_1 – średnica trzpienia śruby pasowanej [mm]; $\sum t$ – sumaryczna grubość blach podlegających dociskowi, w tym samym kierunku [mm]; m – liczba płaszczyzn ścinania;

Warunek trwałości – wytrzymałość zmczeniowa

Wytrzymałość zmczeniową ustroju nośnego lub jego elementu należy obliczać w zależności od: gatunku stali, rodzaju karbu, współczynnika asymetrii naprężeń i grupy natężenia pracy ustroju nośnego dźwigni.

Rodzaj karbu dla złączy nitowanych lub śrubowych	Opis karbu	Rysunek (znak, klasa)
Karb W2	Elementy z otworami na śruby lub nitę w złączach jednostycznych lub wielociętych, zabezpieczone przed zginaniem spowodowanym mimośrodowym działaniem siły	

Grupa natężenia pracy ustroju nośnego	Współczynnik natężenia pracy ustroju nośnego n_p	
	Rodzaj karbu W2	
	Granica plastyczności stali	
	Re ≤ 240 [N/mm ²]	Re ≥ 340 [N/mm ²]
1U	2,38	2,84
2U	2,00	2,37
3U	1,68	1,91
4U	1,41	1,54
5U	1,19	1,24
6U	1,00	1,00

Dla stali o 240 < Re < 340 N/mm², dla karbów W0, W1 oraz W2 wartość n_p należy interpolować liniowo

Wytrzymałość zmczeniowa śrub

Rodzaj naprężeń	Wytrzymałość zmczeniowa	
	śruby	materiału
docisk otworu na rzut	śruby wielocięte: $R_{ze} = 2 \cdot R_z$	R_z
	śruby jednostcięte: $R_{ze} = 1,5 \cdot R_z$	
ściananie	śruby wielocięte: $R_{ze} = 0,8 \cdot R_z$	R_z
	śruby jednostcięte: $R_{ze} = 0,6 \cdot R_z$	

Rodzaj karbu	Wytrzymałość obliczeniowa (Wöblers) R_{wp} [N/mm ²]
W2	84