

Systemy transportu bliskiego

Bezpieczeństwo dźwignic



Ogólne zasady projektowania

Ogólne zasady projektowania stalowych ustrojów nośnych systemów transportu bliskiego

wg. wytycznych normy PN-79/M-06515

Motto prezentacji
„Repetitio est mater studiorum”



.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Terminy, definicje, cel prowadzonych obliczeń dźwignic wg PN-79/M-06515

Celem obliczeń jest teoretyczne wykazanie, że dźwignica została zaprojektowana 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.

Ustrój nośny – element składowy konstrukcji stalowej dźwignicy, którego uszkodzenie wynikające na skutek pęknięcia lub zużycia może spowodować spadnięcie ładunku, spadnięcie lub przewrócenie się dźwignicy, względnie wywołać inne skutki stanowiące zagrożenie dla dźwignicy lub jej otoczenia.

Stany graniczne i podstawowe warunki wymiarowania

Ustrój nośny systemu transportu bliskiego (dźwignicy) lub poszczególne jego elementy przestają spełniać zadanie do jakich zostały przeznaczone, jeżeli przekroczony zostanie jeden z następujących stanów granicznych:

- I stan graniczny** - obejmujący stany graniczne ujawniające się następująco:
- a) zniszczenie najbardziej wyężonego przekroju na skutek przekroczenia granicy wytrzymałości materiału
 - b) odkształcenia trwałe spowodowane przekroczeniem granicy plastyczności materiału
 - c) utrata stateczności ogólnej (globalnej) i lokalnej na skutek przekroczenia naprężeń krytycznych materiału

Nieprzekroczenie I stanu granicznego zapewnia **spełnienie warunku wytrzymałości**.

- II stan graniczny** - ujawniający się powstawaniem pęknięć lub uszkodzeń zmęczeniowych
- Nieprzekroczenie II stanu granicznego zapewnia **spełnienie warunku trwałości**.

- III stan graniczny** - ujawniający się przez nadmierne przemieszczenia i drgania, uniemożliwiające normalną eksploatację i szkodliwe oddziaływanie na organizm ludzki (operatorów)

Nieprzekroczenie III stanu granicznego zapewnia **spełnienie warunku sztywności**.

(dodatkowo: dla dźwignic eksploatowanych w skrajnych warunkach termoklimatycznych, należy sprawdzać tzw. warunek cieplny, to znaczy skutki np. nagrzewania się ustrojów nośnych w wyniku nasłonecznienia, itp.)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Warunek wytrzymałości- dobieranie przekroju

Dobre przekroje materiału podstawowego, spoin, śrub przy jednokrotnym wystąpieniu obciążeń obliczeniowych (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 – ogólne oznaczona wytrzymałość obliczeniowa, w tym: R_o - materiału podstawowego na rozciąganie, ściskanie i zginanie; R_{ot} - wytrzymałość na ścinanie; R_{od} lub R_{om} na docisk dla materiału podstawowego; R_{os} - materiału spoin; R_{on} - materiału nitów; R_{os} lub R_{os} - dla materiałów śrub odpowiednio zwykłych i sprężających;
- m – ogólnie oznaczony współczynnik stateczności elementów ściskanych, w tym: m_w – współczynnik wybooczeniowy; 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:

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

A w przypadku jednoczesnego występowania naprężeń normalnych, dwuosiowych (σ_{ox} i σ_{oy}) i naprężenia stycznego to 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_o ; R_{ox} ; R_{oy} – ogólne oznaczona wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie w kierunku x i y [Pa]
- R_{ot} – ogólne oznaczona wytrzymałość obliczeniowa na ścinanie [Pa]

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Warunek wytrzymałości- wytrzymałość obliczeniowa materiału

Wytrzymałość obliczeniowa materiału podstawowego na rozciąganie, ściskanie i zginanie R_o

• dla stali sklasyfikowanych jako podstawowe gatunki konstrukcyjne – wg. normy (tablica 1)

| Znak stali (kategoria wytrzymałości) | Postać, grubość, średnica [mm] | $R_e \text{ min}$ [N/mm ²] | R_m [N/mm ²] | $A5 \text{ min}$ [%] | R_o [N/mm ²] | R_{od} [N/mm ²] | R_{odH} [N/mm ²] |
|--------------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| St3S | do 16 | 235 | 375 + 460 | 26 | 215 | 255 | 740 |
| | > 16 do 40 | 225 | | | 205 | | |
| | > 40 do 100 | 215 | | | 195 | | |
| 18G2A (E355) | do 16 | 355 | 490 + 630 | 22 | 305 | 370 | 1080 |
| | > 16 do 30 | 345 | | | 295 | | |
| | > 30 do 50 | 335 | | | 285 | | |
| | > 50 do 70 | 320 | | | 275 | | |
| 14HNBCu (E690T) | od 7 do 40 | 690 | 770 + 940 | 13 | 550 | 690 | 1980 |
| R35 | rury | 235 | min 345 | 25 | 210 | 255 | 740 |
| R45 | rury | 255 | min 440 | 20 | 225 | 290 | 860 |

• dla stali nie wymienionych w normie wytrzymałość R_o określa się z zależności:

$$R_o = 0,9 R_e \quad \text{dla } Re \leq 240 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \text{uwaga: \u00f3rednie warto\u015bci wytrzyma\u0142o\u015bci } R_o \text{ nale\u017cy okre\u015bla\u0107 na zasadzie interpolacji liniowej}$$

$$R_o = 0,85 R_e \quad \text{dla } Re \leq 360 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Wytrzymałość obliczeniowa materiału podstawowego na \u015bcinanie R_{ot} : $R_{ot} = 0,6 R_o$

gdzie: R_{od} – wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 na docisk powierzchni o jednakowej krzywi\u0144nie liczonej na rzut ($R_{od} = 1,15 R_e$ dla $R_e \leq 240$ [N/mm²] oraz $R_{od} = 1,1 R_e$ dla $R_e \leq 360$ [N/mm²])
 R_{odH} – wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 na docisk powierzchni liczonej wg Herztu; $R_{odH} = 2,9 R_{od}$

Warunek wytrzymałości- wytrzymałość obliczeniowa spoin oraz nit\u00f3w

Wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniowa spoin R_{os} ustala si\u0119 w zale\u017cno\u015bci od przyjętej dla \u0142\u00e4cznej stali wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniowej R_o , mno\u017c\u0105c j\u0105 przez wsp\u00f3\u0142czynnik s zale\u017cny od rodzaju napr\u0119\u017ani wyst\u0119puj\u0105cych w spoinie (przy po\u0142\u00e4czeniu dw\u00f3ch gatunk\u00f3w stali wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniow\u0105 spoin R_{os} okre\u015bla si\u0119 bior\u00e1c pod uwag\u0119 stal o mniejszej wytrzyma\u0142o\u015b\u0107)

| Rodzaj spoiny | Rodzaj napr\u0119\u017ani w spoinie | Wsp\u00f3\u0142czynnik s |
|---------------|---|----------------------------|
| czo\u0142owe | \u015bciskane osiowo i \u015bciskane przy zginaniu | 1,0 |
| | rozciągane osiowo i rozciągane przy zginaniu, przy spawaniu automatycznym i r\u0119cznym z kontrol\u0105 jako\u015bci spoin | 1,0 0,8 |
| | a) metod\u0105 radiograficzn\u0105 lub ultrad\u017awi\u0119kowej b) metod\u0105 ogl\u0119dzin zewn\u0119trznych | |
| | \u015bcinanie | 0,6 |
| pachwinowe | \u015bcinanie | 0,7 |

Wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniow\u0105 dla nit\u00f3w R_{on} ustala si\u0119 wg wytycznych normowych (tablica 4)

| Rodzaj napr\u0119\u017ani w nicie | Wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniowa nit\u00f3w R_{on} [N/mm ²] | | Minimalna granica plastyczno\u015bci $R_{e \text{ min}}$ [N/mm ²] |
|-----------------------------------|---|------|---|
| | St2N oraz St3N | St4N | |
| docisk otworu na rzut | 340 | --- | $Re < 220$ |
| | 420 | 440 | $220 \leq Re < 320$ |
| | --- | 600 | $Re \geq 320$ |
| \u015bcinanie | 180 | 270 | $Re < 220$ |
| | 210 | 270 | $220 \leq Re < 320$ |
| | --- | 300 | $Re \geq 320$ |
| rozciąganie | 105 | 150 | dla wszystkich gatunk\u00f3w stali |

Warunek wytrzymałości- wytrzymałość obliczeniowa \u015brub

Wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniowa dla \u015brub R_{os} ustala si\u0119 wg wytycznych normowych (tablica 5)

| Rodzaj napr\u0119\u017ani w \u015brubie | Wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniowa po\u0142\u00e4czenia \u015brubowych R_{os} [N/mm ²] | | | | Minimalna granica plastyczno\u015bci $R_{e \text{ min}}$ [N/mm ²] | |
|---|--|-----|---------------|-----|---|---------------------|
| | pasowanych | | Zwyk\u0142ych | | | |
| | Klasa \u015brub wg PN-82/M-82054/03 | | | | | |
| Docisk otworu na rzut | 3,6 | 5,6 | 3,6 | 5,6 | $Re < 220$ | |
| | 320 | --- | 230 | --- | | |
| | 380 | 400 | 270 | 280 | | $220 \leq Re < 320$ |
| | --- | 600 | --- | 400 | | $Re \geq 320$ |
| \u015bcinanie | 170 | --- | 120 | --- | $Re < 220$ | |
| | 190 | 270 | 135 | 180 | $220 \leq Re < 320$ | |
| | --- | 300 | --- | 200 | $Re \geq 320$ | |
| rozciąganie | 160 | 240 | 160 | 240 | dla wszystkich gatunk\u00f3w stali | |

pasowanie trzpienia \u015bruby z otworem konstrukcji h11/H11

Wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniow\u0105 dla \u015brub spr\u0119\u017caj\u0105cych R_{os} ustala si\u0119 wg wytycznych normowych (tablica 6)

| Klasa w\u0142a\u015bci mechanicznych dla \u015brub wg PN-82/M-82054/03 | Wytrzyma\u0142o\u015b\u0107 obliczeniowa \u015brub spr\u0119\u017caj\u0105cych R_{os} [N/mm ²] |
|--|--|
| 8.9 | 510 |
| 10.9 | 720 |
| 12.9 | 860 |

Stan przekroczenia wytrzymałości obliczeniowej, zmniejszenie wytrzymałości

W przypadku gdy naprężenia przekrocza 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 gdy analizowany stan konstrukcji dotyczy kilku przypadków, to współczynnik zmniejszający jest ich iloczynem.

| Lp | Element ustroju nośnego | Współczynnik zmniejszający |
|----|--|----------------------------|
| 1 | Elementy konstrukcyjne o małym przekroju poprzecznym: - blachy o grubości do 4 mm - kątowniki równoramienne do 60x60x6 - kątowniki nierównoramienne do 75x50x6 - rury i profile gięte o grubości ścianki do 4 mm - ceowniki do NP80 | 0,90 |
| 2 | Pręty rozciągane lub ściskane wykonane z pojedynczych kątowników przymocowanych tylko jednym ramieniem do blachy węzłowej lub innego przypadku nieuwzględnienia w obliczeniach momentów wynikających z mimośrodków | 0,85 |
| 3 | Pręty rozciągane lub ściskane wykonane z pojedynczych ceowników, przymocowanych tylko jedną ścianką do blachy węzłowej lub innego przypadku nieuwzględnienia w obliczeniach momentów wynikających z mimośrodków | 0,90 |
| 4 | Jak w lp. 2 i 3, lecz gdy oś pręta przesunięta jest w węźle względem systemu teoretycznego – w przypadku nieuwzględnienia w obliczeniach momentów wynikających z mimośrodków | 0,80 |
| 5 | Spoiny pułapowe | 0,80 |
| 6 | Spoiny pachwinowe wykonane w kątach 60-80° | 0,80 |
| 7 | Blachy i profile rozciągane w kierunku prostym do ich grubości | 0,50 |
| 8 | Nity o łbach płaskich i soczewkowych | 0,80 |

Współczynniki wybożenia m_{σ} , współczynniki zwichrzenia m_{τ} i współczynniki stateczności miejscowej m_s wyznacza się zgodnie z PN-90/B-0-3200 Konstrukcje stalowe – Obliczenia statyczne i projektowanie

Warunek trwałości – dobranie przekroju

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

gdzie:

$$|\sigma| \leq R_z$$

- $|\sigma|$ - 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} , na ścinanie $R_{zm,\tau}$, spoin $R_{zm,s}$ i śrub $R_{zm,ś}$ [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 dobrane 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} – ogólne oznaczenie wytrzymałości zmęczeniowej na rozciąganie i ściskanie w kierunku x i y [Pa]
- R_{zt} – ogólne oznaczenie wytrzymałości zmęczeniowej na ścinanie

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

Warunek trwałości – wytrzymałość zmęczeniowa

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 dźwigniocy.

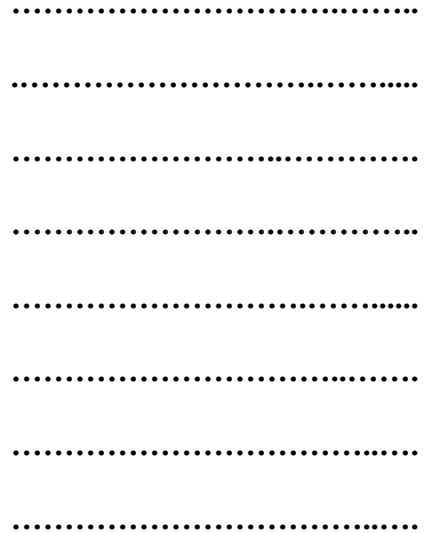
Rodzaj karbu – w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego ustroju nośnego rozróżnia się następujące

- rodzaje karbów: - karby pochodzenia mechanicznego – W0, W1, W2;
- karby pochodzenia spawalniczego – K0, K1, K2, K3 i K4.

| Rodzaj karbu | Opis karbu | Rysunek (znak, klasa) |
|--------------|---|-----------------------|
| Karb W0 | Elementy bez karbu, bez otworów i spoin o gładkich powierzchniach obrabianych mechanicznie, cięte na nożycach, dopuszczalna chropowatość $R_a \leq 25 \mu m$ | |
| Karb W1 | Elementy bez otworów i spoiny o powierzchniach ciętych palnikiem mające co najmniej 2 klasę chropowatości | |
| Karb W2 | Elementy z otworami na śruby lub nity w złączach jednoczęściowych lub wieloczęściowych, zabezpieczone przed zginaniem spowodowanym mimośrodowym działaniem siły | |

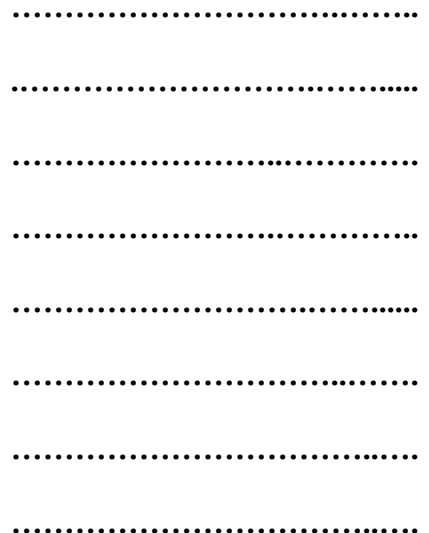
Warunek trwałości – wytrzymałość zmęczeniowa - karby pochodzenia spawalniczego

| 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 | |



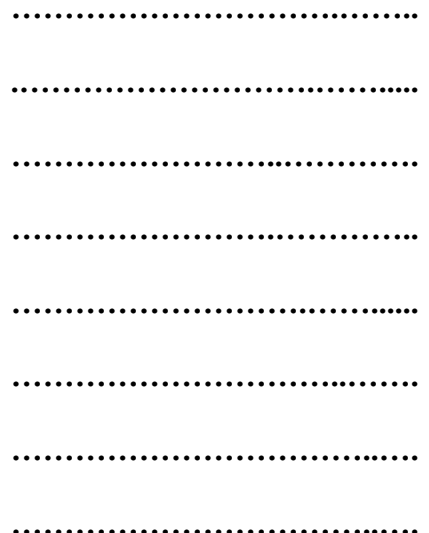
Warunek trwałości – wytrzymałość zmęczeniowa - karby pochodzenia spawalniczego

| 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

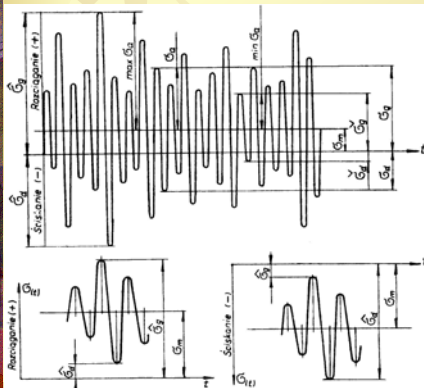
| Rodzaj karbu | Opis karbu | Rysunek (znak, klasa złącza) |
|--------------|---|------------------------------|
| Karb K3 | a) spoina czołowa jednostronna, na podkładce, prostopadła do kierunku działania sił oraz na podkładce w połączeniu rurowym | |
| | b) element ciągły połączony z podłużnym żebrzem 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

Określa się biorąc pod uwagę najmniejsze ($\min \sigma$ lub $\min \tau$) i największe naprężenie ($\max \sigma$ lub $\max \tau$) występujące w rozpatrywanym punkcie ustroju, przy czym do licznika wstawia się naprężenie mniejsze co do bezwzględnej wartości, a do mianownika większe co do bezwzględnej wartości:

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



$$\left. \begin{aligned} \min \sigma &= \sigma_d \\ \max \sigma &= \sigma_g \end{aligned} \right\} \text{gdy } \left| \sigma_g \right| \geq \left| \sigma_d \right|$$

$$\left. \begin{aligned} \min \sigma &= \sigma_g \\ \max \sigma &= \sigma_d \end{aligned} \right\} \text{gdy } \left| \sigma_g \right| \leq \left| \sigma_d \right|$$

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

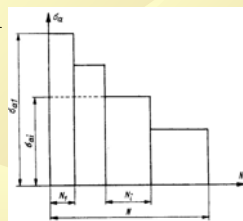
Ustroje nośne dźwigni ze względu na natężenie pracy dzieli się na szereg grup: 1U ... 6U.

O zaliczeniu do odpowiedniej grupy decyduje klasa liczby cykli i klasa obciążenia. Klasie liczby cykli przyporządkowany jest zakres liczby cykli zmian naprężeń w ustroju nośnym w okresie eksploatacji dźwigni. Klasie 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} – kolejno poziomy amplitudy naprężeń występujący N_i cykli zmian naprężeń
- $\max \sigma_{ai}$ – 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.

| 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 materiału podstawowego na rozciąganie i ściskanie R_z

Wytrzymałość zmęczeniową R_z wyznacza się:

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

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

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

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

a) rozciąganie

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

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 zmęczenia R_z – (tablice)

| Rodzaj karbu | Wytrzymałość obliczeniowa (Wöhlera) R_{Wp} [N/mm ²] | | Grupa natężenia pracy ustroju nośnego | Współczynnik natężenia pracy ustroju nośnego n_p | | |
|--------------|--|-------------------------------|--|--|------|---------------------------------|
| | Granica plastyczności stali | | | Rodzaj karbu W0, W1, W2 | | Rodzaj karbu K0, K1, K2, K3, K4 |
| | Re ≤ 240 [N/mm ²] | Re ≥ 340 [N/mm ²] | | Granica plastyczności stali | | |
| | | | Re ≤ 240 [N/mm ²] | Re ≥ 340 [N/mm ²] | | |
| W0 | 120 | 132 | 1U | 2,38 | 2,84 | 5,64 |
| W1 | 96 | 105 | 2U | 2,00 | 2,37 | 4,00 |
| W2 | 84 | 84 | 3U | 1,68 | 1,91 | 2,82 |
| K0 | 84 | | 4U | 1,41 | 1,54 | 2,00 |
| K1 | 75 | | 5U | 1,19 | 1,24 | 1,41 |
| K2 | 63 | | 6U | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| K3 | 45 | | Dla stali o 240 < Re < 340 N/mm ² , dla karbów W0, W1 oraz W2 wartość n_p należy interpolować liniowo | | | |
| K4 | 27 | | | | | |

Wytrzymałość zmęczenia materiału podstawowego na ścinanie: $R_{zt} = 0,6 * R_z$

Wytrzymałość zmęczenia spoin:

Wytrzymałość zmęczenia śrub

| Rodzaj spoiny | | Wytrzymałość zmęczenia | | Rodzaj naprężeń | Wytrzymałość zmęczenia | |
|---------------|-------------------------|------------------------|-----------|-----------------------|---|-----------|
| naprężeń | spoiny | spoiny | materiału | | śruby | materiału |
| Czołowe | rozciąganie i ściskanie | $R_n = R_z$ | R_z | docisk otworu na rzut | śruby wielocięte: $R_{sc} = 2 * R_z$ | R_z |
| | ścinanie | $R_{zn} = 0,6 * R_z$ | R_z | | śruby jednościęte: $R_{sj} = 1,5 * R_z$ | |
| pachwinowe | ścinanie | $R_n = 0,7 * R_z$ | | ścinanie | śruby wielocięte: $R_{sc} = 0,8 * R_z$ | |
| | | | | | śruby jednościęte: $R_{sj} = 0,6 * R_z$ | |

Ogólne wytyczne określania liczby cykli zmian naprężeń i współczynników obciążenia

Naprężenia w ustrojach nośnych dźwignic 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) **quazistatyczne (wolnozmiennne)** – siły ciężkości podnoszonego ładunku i elementów dźwignicy 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 dźwignic specjalnych.

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

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

$n_o = 2$ dla $\beta \leq 0,2$ lub $n_o = 6$ dla $0,2 < \beta \leq 1$ lub $n_o = 20$ 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 quazistatycznych

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

Współczynniki obciążenia K_p dla normalnych rozkładów naprężeń

(w przypadku braku informacji o rozkładzie amplitud naprężeń, należy założyć, że jest on rozkładem normalnym, i wówczas:

a) **ustroje spawane**

b) **ustroje nitowane i śrubowane**

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

$$K_p = 0,19 \cdot p^2 + 0,43 \cdot p + 0,38$$

gdzie:

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

$\max \sigma_q; \min \sigma_q$ – największe i najmniejsze naprężenia od obciążeń quazistatycznych

Przykłady zaszeregowania ustrojów nośnych dźwignic do grup natężenia pracy

| Lp | Rodzaj i przeznaczenie dźwignicy | Grupa natężenia pracy ustroju nośnego |
|----|---|---------------------------------------|
| 1 | Dźwignice z napędem ręcznym | 1U |
| 2 | Żurawie montażowe przenośne, suwnice remontowe | 2U – 3U |
| 3 | Dźwignice montażowe i remontowe w halach maszyn | 3U – 4U |
| 4 | Żurawie budowlane wieżowe | 3U – 4U |
| 5 | Żurawie jezdniowe samochodowe i samojezdne | 3U–5U |
| 6 | Dźwignice warsztatowe | 4U–5U |
| 7 | Dźwignice do obsługi magazynów, przeladunku kontenerów | 4U – 5U |
| 8 | Suwnice stożniowe i dokowe | 3U – 5U |
| 9 | Suwnice kuzienne, walcownicze, kleszczowe, wypychowe, wsadowe, kafarowe | 6U |

