

|                                                                                                                                              |                                                                        |                                                                                  |                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|  <p>POLSKI KOMITET<br/>NORMALIZACJI,<br/>MIAR I JAKOŚCI</p> | POLSKA NORMA                                                           |                                                                                  | PN-90<br>B-03200          |
|                                                                                                                                              | <p>Konstrukcje stalowe</p> <p>Obliczenia statyczne i projektowanie</p> |                                                                                  | Zamiast:<br>PN-80/B-03200 |
|                                                                                                                                              |                                                                        |                                                                                  | Grupa katalogowa<br>0702  |
| Steel structures<br>Design rules                                                                                                             | Constructions d'acier<br>Projets et calculs statiques                  | <p>Նմանապատկերային շինարարական<br/>կառուցվածքների ինժեներական<br/>հաշվարկներ</p> |                           |

## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP

- 1.1. Przedmiot normy
- 1.2. Zakres stosowania normy
- 1.3. Dokumentacja projektowa
- 1.4. Podstawowe oznaczenia
  - 1.4.1. Cechy geometryczne
  - 1.4.2. Obciążenia, siły przekrojowe, nośność
  - 1.4.3. Naprężenia i wytrzymałość
  - 1.4.4. Współczynniki
  - 1.4.5. Indeksy i inne oznaczenia

2. MATERIAŁY I WYROBY

- 2.1. Stal. Stałe materiałowe i cechy mechaniczne
- 2.2. Liny i druty stalowe
- 2.3. Śruby
- 2.4. Nity
- 2.5. Elektrody
- 2.6. Atestowanie materiałów

3. ZASADY PROJEKTOWANIA

- 3.1. Postanowienia ogólne
  - 3.1.1. Metoda wymiarowania
  - 3.1.2. Obciążenia
  - 3.1.3. Współczynnik konsekwencji zniszczenia
  - 3.1.4. Wytrzymałość obliczeniowa stali
  - 3.1.5. Wytrzymałość w złożonym stanie naprężenia
- 3.2. Obliczenia statyczne i badania konstrukcji
  - 3.2.1. Model obliczeniowy konstrukcji
  - 3.2.2. Siły przekrojowe i przemieszczenia konstrukcji
  - 3.2.3. Badania atestacyjne
- 3.3. Stany graniczne użytkowania - warunki sztywności
  - 3.3.1. Zasady ogólne
  - 3.3.2. Ugięcia belek i elementów obudowy
  - 3.3.3. Przemieszczenia poziome konstrukcji
  - 3.3.4. Podniesienie wykonawcze

- 3.3.5. Drgania
- 3.4. Nośność konstrukcji ze względu na zmęczenie materiału
- 3.5. Wpływ temperatury
  - 3.5.1. Działanie różnicy temperatur. Przerwy dylatacyjne
  - 3.5.2. Właściwości stali
- 3.6. Ochrona konstrukcji przed korozją i ogniem

#### **4. ELEMENTY KONSTRUKCJI**

- 4.1. Postanowienia ogólne
  - 4.1.1. Złożony stan naprężenia
  - 4.1.2. Osłabienie elementu otworami na łączniki
  - 4.1.3. Klasyfikacja przekrojów
- 4.2. Stateczność miejscowa
  - 4.2.1. Zasady ogólne
  - 4.2.2. Ścianki ściskane, ściskane mimośrodowo lub zginane
  - 4.2.3. Ścianki ścinane
  - 4.2.4. Środniki pod obciążeniem skupionym
  - 4.2.5. Środniki w złożonym stanie naprężenia
  - 4.2.6. Żebra usztywniające
- 4.3. Elementy rozciągane
  - 4.3.1. Postanowienia ogólne
  - 4.3.2. Nośność elementów rozciąganych osiowo
- 4.4. Elementy ściskane
  - 4.4.1. Postanowienia ogólne
  - 4.4.2. Nośność obliczeniowa przekroju przy osiowym ściskaniu
  - 4.4.3. Smukłość względna pręta przy wyboczeniu
  - 4.4.4. Współczynnik wyboczeniowy
  - 4.4.5. Nośność (stateczność) elementów ściskanych osiowo
- 4.5. Elementy zginane
  - 4.5.1. Postanowienia ogólne
  - 4.5.2. Nośność obliczeniowa przekroju przy jednokierunkowym zginaniu
  - 4.5.3. Smukłość względna przy zwichrzeniu
  - 4.5.4. Współczynnik zwichrzenia
  - 4.5.5. Nośność (stateczność) elementów jednokierunkowo zginanych
  - 4.5.6. Nośność elementów dwukierunkowo zginanych lub zginanych i rozciąganych
- 4.6. Elementy ściskane i zginane
  - 4.6.1. Zasady ogólne - parametry stateczności
  - 4.6.2. Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych
- 4.7. Elementy wielogłazowe
  - 4.7.1. Zasady ogólne
  - 4.7.2. Smukłość zastępcza
  - 4.7.3. Przewiązki i skratowania

#### **5. UKŁADY KONSTRUKCYJNE - STATECZNOŚĆ OGÓLNA**

- 5.1. Zasady i wymagania ogólne
- 5.2. Podparcia boczne elementów ściskanych
- 5.3. Stężenia dachowe
- 5.4. Układy ramowe (szkieletowe)
  - 5.4.1. Ogólny podział ram
  - 5.4.2. Parametr niedoskonałości
  - 5.4.3. Wskaźnik wrażliwości na efekty II rzędu
  - 5.4.4. Zasady obliczeń statycznych
- 5.5. Stateczność położenia

#### **6. POŁĄCZENIA**

- 6.1. Postanowienia ogólne
- 6.2. Połączenia na śruby, nity i sworznie
  - 6.2.1. Kategorie połączeń
  - 6.2.2. Wymagania konstrukcyjne
  - 6.2.3. Nośność obliczeniowa łączników
  - 6.2.4. Obliczanie i wymiarowanie połączeń

- 6.3. Połączenia spawane
  - 6.3.1. Ogólne wymagania i zalecenia
  - 6.3.2. Wymiary obliczeniowe i wymagania konstrukcyjne
  - 6.3.3. Obliczanie i wymiarowanie połączeń
- 6.4. Połączenia bezżebrowe
  - 6.4.1. Zasady ogólne
  - 6.4.2. Połączenia spawane belek ze słupami
- 6.5. Oparcie i łożyska belek
- 6.6. Styki i podstawy słupów

## 7. POSTANOWIENIA PRZEJŚCIOWE

### ZAŁĄCZNIKI

- [Załącznik 1. Parametry stateczności elementów konstrukcji](#)
- [Załącznik 2. Wartości pomocnicze do obliczania połączeń śrubowych](#)
- [Załącznik 3. Zasady sprawdzania nośności konstrukcji ze względu na zmęczenie materiału \(wysokocyklowe\)](#)
- [Załącznik 4. Obliczanie i projektowanie konstrukcji z uwzględnieniem plastycznej rezerwy nośności](#)
- [Załącznik 5. Belki podsuvnicowe](#)

### INFORMACJE DODATKOWE

**zmiana 1**  
92.07.29

## 5. PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowe 0702

W rozdziale 7. POSTANOWIENIA PRZEJŚCIOWE zmienia się treść następująco:  
Dopuszcza się stosowanie PN-80/B-03200 do dnia 31 grudnia 1995 r. w takim zakresie, jak to wynika z postanowień aktualnie obowiązujących norm związanych odwołujących się do PN-80/B-03200.

(Biuletyn PKNMiJ nr 10/92 poz. 48)

|                     |                                                               |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| PN-B-03200/AC2:1997 | Konstrukcje stalowe -<br>Obliczenia statyczne i projektowanie | <b>Załącznik 5</b><br>p.4.3 wzór (Z 5-7)<br>przy współczynniku 1,4<br><br><b>INFORMACJE DODATKOWE</b> | <p>odsylacz<sup>2)</sup>;<br/> <sup>2)</sup> Patrz <b>INFORMACJE DODATKOWE</b> p. 10<br/>         (treść odsylacza umieszcza się na dole strony pod kreską)</p> <p>Dopisuje się p. 10 o treści:<br/>         10. Komentarz do wzoru (Z5-7)<br/>         Jeśli znany (ustalony) jest rozstaw poprzeczny kół w świetle <math>a</math>, to we wzorze (Z5-7) zamiast współczynnika 1,4 (przy <math>P</math>) można przyjmować wartość<br/> <math display="block">k = 0,4 + \frac{a}{b}</math>         gdzie:<br/> <math>b</math> - szerokość pasa</p> | 1997-06-26 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

## 1. WSTĘP

**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy jest obliczanie i projektowanie konstrukcji stalowych.

**1.2. Zakres stosowania normy.** Normę należy stosować przy opracowywaniu dokumentacji technicznej konstrukcji budowlanych, których projektowanie nie jest przedmiotem osobnych norm.

**1.3. Dokumentacja projektowa** powinna być opracowana zgodnie z [PN-90/B-03000](#) oraz [PN-64/B-01043](#).

### 1.4. Podstawowe oznaczenia

#### 1.4.1. Cechy geometryczne

$a$  - wielkość geometryczna liniowa (rozstaw, odległość),  
 $a$  - grubość obliczeniowa spoiny,  
 $b, b_e$  - szerokość, szerokość współpracująca,  
 $c$  - odległość, wymiar strefy docisku,  
 $d, d_0$  - średnica, średnica otworu,  
 $e$  - mimośród,  
 $h$  - wysokość,  
 $i$  - promień bezwładności,  
 $l$  - długość, rozpiętość,  
 $l_0$  - długość obliczeniowa,  
 $l_e$  - długość wybożenia,  
 $r$  - promień zaokrąglenia,  
 $t$  - grubość ścianki, blachy,  
 $A, A_n$  - pole przekroju brutto, netto,  
 $A_e$  - pole współpracującej części przekroju w stanie nadkrytycznym,  
 $A_v$  - pole części przekroju czynnej przy ścinaniu,  
 $I$  - moment bezwładności,  
 $S$  - moment statyczny,  
 $W$  - wskaźnik wytrzymałości przekroju,  
 $W_e$  - wskaźnik wytrzymałości przekroju współpracującego,  
 $W_{pl}$  - wskaźnik oporu plastycznego przy zginaniu,  
 $\lambda, \bar{\lambda}$  - smukłość pręta, smukłość względna,  
 $\bar{\lambda}_p$  - względna smukłość płytowa.

#### 1.4.2. Obciążenia, siły przekrojowe, nośność

$F$  - obciążenie, siła (ogólnie),  
 $F_{Rj}$  - nośność obliczeniowa połączenia zakładkowego,  
 $H$  - siła pozioma,  
 $M, M_R$  - moment zginający, nośność obliczeniowa przekroju przy zginaniu,  
 $M_{Rj}$  - nośność obliczeniowa połączenia przy zginaniu,  
 $N, N_R$  - siła podłużna, nośność obliczeniowa przekroju: przy ściskaniu  $N_{Rc}$ , przy rozciąganiu  $N_{Rt}$ ,  
 $N_{Rj}$  - nośność obliczeniowa połączenia doczołowego przy rozciąganiu,  
 $P, P_R$  - siła skupiona, nośność obliczeniowa środka pod obciążeniem skupionym,  
 $S, S_R$  - siła przypadająca na łącznik, nośność obliczeniowa łącznika,  
 $V, V_R$  - siła poprzeczna, nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu.

#### 1.4.3. Naprężenia i wytrzymałość

$\sigma$  - naprężenia normalne,  
 $\tau$  - naprężenia styczne,  
 $R_e$  - specyfikowana przez producenta (normowa) granica plastyczności,  
 $R_m$  - specyfikowana przez producenta wytrzymałość na rozciąganie,  
 $f_{yk}$  - wytrzymałość charakterystyczna stali odpowiadająca wyraźnej lub umownej granicy plastyczności,  
 $f_d$  - wytrzymałość obliczeniowa stali,  
 $f_{dT}$  - wytrzymałość obliczeniowa stali w podwyższonej temperaturze,  
 $\Delta\sigma, \Delta\tau$  - zakres zmienności naprężeń normalnych, stycznych,  
 $\Delta\sigma_R, \Delta\tau_R$  - wytrzymałość zmęczenia (ogólnie).

#### 1.4.4. Współczynniki

$\alpha$  - współczynnik warunków pracy (ogólnie),  
 $\beta$  - współczynnik momentu zginającego,  
 $\gamma_f$  - współczynnik obciążenia,  
 $\gamma_s$  - współczynnik materiałowy,  
 $\mu$  - współczynnik długości wyboczeniowej, współczynnik tarcia,  
 $\phi$  - współczynnik wyboczeniowy,  
 $\phi_L$  - współczynnik zwichrzenia,  
 $\phi_p$  - współczynnik niestateczności miejscowej,  
 $\psi$  - współczynnik redukcji nośności obliczeniowej przekroju.

#### 1.4.5. Indeksy i inne oznaczenia

$d, k$  - obliczeniowy, charakterystyczny,  
 $c, t, v, b$  - ściskanie, rozciąganie, ścinanie, docisk,  
 $f, w, s$  - pas (półka), środnik, żebro,  
 $j$  - połączenie,  
 $R$  - graniczny w sensie nośności obliczeniowej,  
 $cr$  - krytyczny w sensie klasycznej teorii stateczności,  
 $pl$  - plastyczny,  
 $x, y, z$  - względem osi  $X$ , względem osi  $Y$ , względem osi  $Z$ ,  
 $i$  - kolejny,  $i = 1, 2 \dots$ ;  $i = x$  lub  $y$ ,  
 $\min, \max$  - najmniejszy, największy,  
 $red$  - zredukowany,  
 $\parallel, \perp$  - równoległy, prostopadły,  
 $\Delta$  - przyrost, różnica, składnik poprawkowy,  
 $\Sigma$  - suma.

## 2. MATERIAŁY I WYROBY

### 2.1. Stal. Stałe materiałowe i cechy mechaniczne

a) Kształtowniki, rury, blachy, pręty stalowe i odlewy stalowe należy przyjmować wg norm hutniczych i aktualnych programów produkcji, dobierając gatunek stali (skład chemiczny) oraz jej właściwości mechaniczne, technologiczne i eksploatacyjne odpowiednio do rodzaju i przeznaczenia elementu konstrukcyjnego.

Konstrukcje spawane należy projektować ze stali spawalnej. Konstrukcje przeznaczone do eksploatacji w warunkach sprzyjających kruchemu pękaniu należy projektować ze stali o odpowiedniej udarności gwarantowanej atestem.

b) Stałe materiałowe stali należy przyjmować wg tabl. 1.

Tablica 1

| Stała materiałowa                              | Wartość charakterystyczna                       |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Współczynnik sprężystości podłużnej            | $E = 205 \text{ GPa}$                           |
| Współczynnik sprężystości poprzecznej          | $G = 80 \text{ GPa}$                            |
| Współczynnik Poissona                          | $\nu = 0,30$                                    |
| Współczynnik rozszerzalności cieplnej liniowej | $\epsilon_T = 12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ |
| Gęstość masy                                   | $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$                    |

Współczynniki oporu tarcia w łożyskach podporowych należy przyjmować w zależności od rodzaju i sposobu przygotowania powierzchni:

- przy ślizganiu powierzchni płaskich  $\mu = 0,2 \div 0,3$ ,
- przy ślizganiu powierzchni krzywej po płaskiej  $\mu = 0,1 \div 0,2$ ,
- przy toczeniu  $\mu = 0,03$ .

c) Właściwości stali należy przyjmować wg norm przedmiotowych. Dla najczęściej stosowanych gatunków stali, minimalne wg norm hutniczych wartości cech mechanicznych  $R_e$ ,  $R_m$  i  $A_5$  podano w tabl. 2.

Tablica 2

| Rodzaj stali                                                               | Znak stali                            | Rodzaj wyrobu, grubości <sup>1)</sup> , t<br>mm |                                                      | Właściwości mechaniczne |                   |                   |                   |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                            |                                       |                                                 |                                                      | $R_{e \min}$<br>MPa     | $\min R_m$<br>MPa | $A_{5 \min}$<br>% | $f_d$<br>MPa      |
| 1                                                                          | 2                                     | 3                                               |                                                      | 4                       | 5                 | 6                 | 7                 |
| Stal niestopowa konstrukcyjna wg<br><a href="#">PN-88/H-84020</a>          | StOS                                  | Blachy, kształtowniki,<br>pręty, rury           | $t \leq 16$<br>$16 < t \leq 40$                      | 195<br>185              | 315               | 23<br>22          | 175<br>165        |
|                                                                            | St3SX, St3SY, St3S,<br>St3V, St3W     |                                                 | $t \leq 16$<br>$16 < t \leq 40$<br>$40 < t \leq 100$ | 235<br>225<br>215       | 375               | 26<br>25<br>23    | 215<br>205<br>195 |
|                                                                            | St4VX, St4VY, St4V,<br>St4W           |                                                 | $t \leq 16$<br>$16 < t \leq 40$                      | 255<br>245              | 410               | 24<br>23          | 235<br>225        |
| Stal niskostopowa wg<br><a href="#">PN-86/H-84018</a>                      | 18G2, 18G2A                           |                                                 | $t \leq 16$<br>$16 < t \leq 30$<br>$30 < t \leq 50$  | 355<br>345<br>335       | 490               | 22                | 305<br>295<br>285 |
|                                                                            | 18G2AV <sup>2)</sup>                  |                                                 | $t \leq 16$<br>$16 < t \leq 30$<br>$30 < t \leq 50$  | 440<br>430<br>420       | 560               | 18                | 370<br>360<br>350 |
| Stal trudnordzewiejąca wg<br>PN-83/H-84017                                 | 10HA                                  |                                                 | walcowane na zimno                                   | 315                     | 440               | 24                | 275               |
|                                                                            | 10H, 10HA                             |                                                 | walcowane na gorąco                                  | 345                     | 470               | 22                | 290               |
|                                                                            | 12H1JA, 12PJA<br>10HNAP <sup>3)</sup> |                                                 | walcowane na zimno                                   | 355                     | 490               | 22                | 290               |
|                                                                            | 10HAV                                 |                                                 | walcowane na gorąco                                  | 390                     | 510               | 20                | 310               |
| Stal do produkcji rur <sup>4)</sup> wg<br><a href="#">PN-89/H-84023/07</a> | R                                     | rury walcowane lub ciągnione                    |                                                      | nie określa się         |                   |                   | 165               |
|                                                                            | R35                                   |                                                 |                                                      | 235                     | 345               | 25                | 210               |
|                                                                            | R45                                   |                                                 |                                                      | 255                     | 440               | 21                | 225               |
|                                                                            | 12X                                   | rury zgrzewane                                  |                                                      | 205                     | 330               | 26                | 180               |
| Staliwo wg PN-85/H-83152                                                   | L400                                  | odlewy stalowe grupy II                         |                                                      | 250                     | 400               | 25                | 225               |
|                                                                            | L450                                  |                                                 |                                                      | 260                     | 450               | 22                | 235               |
|                                                                            | L500                                  |                                                 |                                                      | 320                     | 500               | 18                | 280               |

1) Dla kształtowników walcowanych miarodajna jest średnia grubość półki (stopki).

2) Podane w tablicy wartości dotyczą kategorii wytrzymałościowej E440.

3) Stal 10HNAP jest walcowana na gorąco.

4) Rury walcowane lub ciągnione są produkowane także ze stali 18G2A, a zgrzewane ze stali St3S i 18G2A.

**2.2. Liny i druty stalowe.** Rodzaje, gatunki i właściwości mechaniczne drutów i lin stalowych do konstrukcji sprężonych należy przyjmować wg PN-71/M-80014 i PN-71/M-80236, a pozostałych lin - wg PN-68/M-80200 i PN-92/M-80201.

Dla drutów oraz lin wstępnie przeciągniętych można przyjmować następujące współczynniki sprężystości:

- dla drutów i wiązek drutów równoległych  $E = 195 \text{ GPa}$ ,
- dla lin skręconych zamkniętych  $E = 165 \text{ GPa}$ ,
- dla lin z rdzeniem stalowym  $E = 145 \text{ GPa}$ ,
- dla lin z rdzeniem niemetalowym  $E = 125 \text{ GPa}$ .

**2.3. Śruby** dokładne, średniodokładne i zgrubne z łbem sześciokątnym należy stosować wg PN-85/M-82101, a w uzasadnionych przypadkach - wg PN-85/M-82105; nakrętki i podkładki (zwykłe, sprężyste, klinowe, twarde) - wg norm przedmiotowych.

**2.4. Nity** z łbem kulistym, płaskim lub soczewkowym należy stosować wg norm przedmiotowych. Właściwości mechaniczne i odchyłki wymiarów należy przyjmować wg PN-79/M-82903.

**2.5. Elektrody** oraz inne materiały do spawania należy stosować wg norm przedmiotowych odpowiednio do gatunku stali, metody i warunków spawania.

**2.6. Atestowanie materiałów.** Materiały i wyroby budowlane o jakości innej niż katalogowa powinny mieć wymagane parametry potwierdzone atestem. W technicznie uzasadnionych przypadkach należy żądać atestu potwierdzającego jakość katalogową.

### 3. ZASADY PROJEKTOWANIA

#### 3.1. Postanowienia ogólne

**3.1.1. Metoda wymiarowania.** Wymiarowanie konstrukcji należy przeprowadzać metodą stanów granicznych wg [PN-76/B-03001](#), rozróżniając:

- stany graniczne nośności (i obciążenia obliczeniowe) oraz
- stany graniczne użytkowania (i obciążenia charakterystyczne).

Przy wymiarowaniu konstrukcji należy wykazać, że we wszystkich możliwych do przewidzenia przypadkach projektowych, w fazach realizacji i eksploatacji, spełnione są warunki nośności i sztywności konstrukcji.

**3.1.2. Obciążenia.** Rodzaje, wartości, współczynniki i kombinacje obciążeń należy ustalać wg [PN-82/B-02000](#) oraz innych norm i przepisów właściwych ze względu na przedmiot projektowania.

**3.1.3. Współczynnik konsekwencji zniszczenia**  $\gamma_n$  należy przyjmować jako mnożnik do obciążeń obliczeniowych w zależności od rodzaju, wielkości i przeznaczenia konstrukcji, z uwzględnieniem strat materialnych i zagrożenia życia ludzkiego w przypadku ewentualnej awarii.

Jeśli inne przepisy nie stanowią inaczej, ani też nie przeprowadza się specjalnej analizy probabilistycznej, to dla konstrukcji nośnych w budownictwie powszechnym należy przyjmować  $\gamma_n = 1$ .

**3.1.4. Wytrzymałość obliczeniową stali** należy przyjmować wg tabl. 3.

Tablica 3

| Wytrzymałość obliczeniowa stali                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Definicja <sup>1)</sup>                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Rozciąganie, ściskanie i przy zginaniu w kształtownikach, rurach, prętach i blachach                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $f_d$ wg tabl. 2 $\left( f_d = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \right)^{2)}$ |
| Ścinanie w elementach jw.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $f_{dv} = \frac{f_d}{\sqrt{3}} \cong 0,58 f_d$                       |
| Docisk powierzchni płaskich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $f_{db} = 1,25 f_d$                                                  |
| Docisk skupiony wg Hertza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $f_{dbH} = 3,6 f_d^{3)}$                                             |
| Rozciąganie w cięgnach o wysokiej wytrzymałości ( $R_m \geq 880$ MPa)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $f_{ud} = 0,65 R_m^{4)}$                                             |
| <sup>1)</sup> Obliczone wartości można zaokrąglić do 5 MPa.<br><sup>2)</sup> Dla gatunków stali nie ujętych w tabl. 2 wytrzymałość obliczeniową ustala się indywidualnie, dzieląc wytrzymałość charakterystyczną $f_{yk}$ przez współczynnik materiałowy $\gamma_s$ .<br>Jeśli nie przeprowadzono odpowiednich badań, to należy przyjmować $f_{yk} = R_{emin}$ oraz:<br>$\gamma_s = 1,15$ - dla stali $R_e \leq 355$ MPa,<br>$\gamma_s = 1,20$ - dla stali $355 < R_e \leq 460$ MPa,<br>$\gamma_s = 1,25$ - dla stali $460 < R_e \leq 590$ MPa.<br><sup>3)</sup> W przypadku łożysk z liczbą wałków większą niż 2 należy zmniejszyć wartość $f_{dbH}$ o 100 MPa.<br><sup>4)</sup> W przypadku cięgien wiotkich równomiernie wyłożonych na odcinku dłuższym niż 30 m należy uwzględnić redukcję wytrzymałości obliczeniowej wskutek statystycznego efektu skali. |                                                                      |

**3.1.5. Wytrzymałość w złożonym stanie naprężenia** należy sprawdzać wg wzoru

$$\sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_y \sigma_z + 3\tau^2} \leq f_d \quad (1)$$



w którym  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau$  - składowe naprężenia normalne i styczne w płaskim stanie naprężenia.

## 3.2. Obliczenia statyczne i badania konstrukcji

**3.2.1. Model obliczeniowy konstrukcji** powinien odwzorowywać wszystkie istotne parametry i czynniki mające wpływ na zachowanie się konstrukcji w rozpatrywanym stanie granicznym tj.: obciążenia i oddziaływania, właściwości materiału, cechy geometryczne oraz sztywność (podatność) elementów, połączeń i więzi podporowych (stężeń).  
Stopień złożoności modelu obliczeniowego powinien być uzasadniony z punktu widzenia ważności zadania projektowego.

**3.2.2. Siły przekrojowe i przemieszczenia konstrukcji** należy wyznaczać metodami mechaniki budowli wg teorii I rzędu, a w uzasadnionych przypadkach (np. p. 5.4.4) - wg teorii II rzędu przy założeniu sprężystego modelu materiału.  
W przypadkach określonych w załączniku 4 można uwzględniać w obliczeniach plastyczną redystrybucję naprężeń i sił przekrojowych oraz związaną z nią plastyczną rezerwę nośności konstrukcji.  
Gdy zastosowanie analizy obliczeniowej jest utrudnione lub jej wyniki wzbudzają wątpliwość, to siły przekrojowe i przemieszczenia należy wyznaczać na podstawie badań doświadczalnych.

**3.2.3. Badania atestacyjne.** Konstrukcje lub elementy konstrukcji szczególnego typu lub przeznaczenia, w tym konstrukcje prototypowe przeznaczone do seryjnej produkcji, powinny być poddane próbom obciążenia.

## 3.3. Stany graniczne użytkowania - warunki sztywności

### 3.3.1. Zasady ogólne

- Sprawdzenie konstrukcji ze względu na stany graniczne użytkowania ma na celu niedopuszczenie do nadmiernych ugięć, przemieszczeń i drgań, utrudniających lub uniemożliwiających prawidłową eksploatację obiektu.
- Do obliczeń należy przyjmować wartości charakterystyczne obciążeń ( $\gamma_f = 1$ ).
- Przy obliczaniu ugięć i przemieszczeń konstrukcji nie uwzględnia się:
  - współczynników dynamicznych,
  - osłabienia elementów otworami na łączniki,
  - obciążenia stałego w przypadku konstrukcji z podniesieniem wykonawczym,
  - wzrostu przemieszczeń spowodowanego efektami II rzędu.
- Graniczne ugięcia belek podsuwnicowych podano w Załączniku 5.
- Graniczne ugięcia i przemieszczenia konstrukcji nie ujętych w normie należy przyjmować wg norm przedmiotowych.

**3.3.2. Ugięcia belek i elementów obudowy** (swobodnie podpartych, ciągłych i utwierdzonych) nie powinny przekraczać ugięć granicznych podanych w tabl. 4.

Tablica 4

| Elementy konstrukcji                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ugięcie graniczne <sup>1)</sup>                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Elementy stropów, podestów i pomostów:<br>- główne belki stropowe (podciągi),<br>- inne belki stropowe i w klatkach schodowych,<br>- płyty stalowe i kratki pomostowe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $l/350$ <sup>2)</sup><br>$l/250$ <sup>3)</sup><br>$l/150$ |
| Dźwigary dachowe (kratowe i pełnościenne)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l/250$                                                   |
| Elementy obudowy:<br>- płatwie, rygle, słupki<br>- ramy i szczebliny okien<br>- blacha fałdowa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $l/200$ <sup>4)</sup><br>$l/200$<br>$l/150$ <sup>5)</sup> |
| Nadproża okien i bram                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $l/500$                                                   |
| <sup>1)</sup> $l$ oznacza rozpiętość elementu lub podwójny wysięg wspornika.<br><sup>2)</sup> Dodatkowe wymagania wg 3.3.5a).<br><sup>3)</sup> W stropach otynkowanych lub obciążonych ścianami wrażliwymi na zarysowanie ugięcie od obciążeń zmiennych długotrwałych nie powinno przekraczać $l/350$ .<br><sup>4)</sup> Przy obudowie z blachy fałdowej i rozpiętości $\leq 6$ m można przyjąć $l/150$ .<br><sup>5)</sup> Jeśli specjalne wymagania ze względu na odwodnienie dachu nie stanowią inaczej. |                                                           |

Gdy rozpiętości i obciążenia przeszły różnią się nie więcej niż o 20%, to ugięcia belek ciągłych o stałym przekroju można

przyjmować jak dla belki swobodnie podpartej, ze współczynnikiem redukcyjnym, który dla przęseł skrajnych (środkowych) wynosi:

0,5(0,2) - przy obciążeniu stałym oraz

0,75(0,6) - przy obciążeniu zmiennym.

W przypadku belek obetonowanych, a także belek monolitycznie zespolonych z płytami stropowymi można uwzględniać w obliczeniach współpracę belki stalowej z betonem. Jeśli nie przeprowadza się dokładnej analizy, to ugięcia belki stalowej można zmniejszyć o 20%.

### 3.3.3. Przemieszczenia poziome konstrukcji nie powinny przekraczać:

a) w układach jednokondygnacyjnych (bez suwnic):

- przy obudowie wrażliwej na pękanie:  $h/250$ ,

- w pozostałych przypadkach:  $h/150$ ,

gdzie  $h$  - wysokość kondygnacji;

b) w układach wielokondygnacyjnych:  $h_i/500$ ,

gdzie  $h_i$  - poziom rygla (stropu) rozpatrywanej kondygnacji względem wierzchu fundamentów.

**3.3.4. Podniesienie wykonawcze** należy stosować w dźwigarach dachowych o rozpiętości 30 m i większej (mniejszej w uzasadnionych przypadkach), przyjmując przeciwstrzałkę montażową nie mniejszą niż suma ugięć od obciążenia stałego i połowy obciążenia zmiennego.

Podniesienia wykonawczego można nie stosować w dźwigarach z krzywoliniowym (załamanym) pasem dolnym lub ze ściągiem między podporami.

### 3.3.5. Drgania

a) Częstotliwość drgań własnych konstrukcji stropu w pomieszczeniach użyteczności publicznej (wolnych od ścian działowych) o rozpiętości  $l > 12$  m powinna wynosić co najmniej 5 Hz. Warunku tego można nie sprawdzać, gdy ugięcie konstrukcji od kombinacji obciążeń długotrwałych nie przekracza 10 mm.

b) Różnica częstotliwości drgań wzbudzonych i drgań własnych konstrukcji narażonych na oddziaływania typu harmonicznego powinna wynosić co najmniej 25% częstotliwości drgań własnych.

c) Budynki narażone na drgania przekazywane przez podłoże, należy projektować z uwzględnieniem postanowień

[PN-85/B-02170](#).

**3.4. Nośność konstrukcji ze względu na zmęczenie materiału** należy dodatkowo sprawdzać w przypadku obciążeń dynamicznych wielokrotnie zmiennych.

Zasady obliczania konstrukcji oraz warunki nośności zmęczeniowej elementów i połączeń przy obciążeniach wysokocyklowych podano w załączniku 3.

## 3.5. Wpływ temperatury

### 3.5.1. Działanie różnicy temperatur. Przerwy dylatacyjne

a) W projektowaniu konstrukcji należy uwzględniać wpływ temperatury pochodzenia technologicznego, a w uzasadnionych przypadkach wpływ temperatury pochodzenia klimatycznego wg [PN-86/B-02015](#).

b) Jeśli nie przeprowadza się dokładnej analizy wg ww. normy, to dla konstrukcji eksploatowanych w krajowych warunkach klimatycznych można przyjmować obliczeniową różnicę temperatur  $\Delta T_0 = \pm 30^\circ\text{C}$  w stosunku do umownej temperatury scalania konstrukcji  $T_0 = 10^\circ\text{C}$ .

c) W przypadku jednokondygnacyjnych układów szkieletowych można pomijać w obliczeniach statycznych wpływ temperatury pochodzenia klimatycznego, jeśli spełnione są następujące warunki:

- długość obiektu lub jego oddylatowanej części (rozstaw dylatacji) nie przekracza:

150 m - w budynkach halowych,

120 m - w estakadach, a ponadto

- odległość między najdalszymi względem siebie podporami (stężeniami lub słupami) przenoszącymi siły poziome w rozpatrywanym kierunku, jak również odległość przerwy dylatacyjnej od najbliższego stężenia pionowego, nie przekracza 60 m.

**3.5.2. Właściwości stali.** Jeśli temperatura eksploatacyjna konstrukcji  $T$  przekracza  $70^\circ\text{C}$ , to do obliczeń należy przyjmować zredukowaną wytrzymałość obliczeniową  $f_{dT}$ , zredukowany początkowy współczynnik sprężystości  $E_T$  oraz zredukowane współczynniki niestateczności  $\varphi_T$ . Wartości te dla  $70 \leq T \leq 600^\circ\text{C}$  można obliczać wg wzorów:

$$f_{dT} = f_d \left( 1,022 - 0,197 \cdot 10^{-3} T - 1,590 \cdot 10^{-6} T^2 \right) \quad (2)$$

$$E_T = E \left( 0,987 + 0,300 \cdot 10^{-3} T - 1,857 \cdot 10^{-6} T^2 \right) \quad (3)$$

$$\varphi_T = \left[ 1 + \left( \frac{1}{\varphi} - 1 \right) \frac{E}{E_T} \right]^{-1} \quad (4)$$

w których  $\varphi = \varphi(\bar{\lambda})$  - odpowiedni współczynnik niestateczności dla smukłości względnej, ustalonej przy nie zmienionych wartościach  $f_d$  i  $E$ .

### 3.6. Ochrona konstrukcji przed korozją i ogniem

a) Zabezpieczenie konstrukcji przed korozją (przez dobór odpowiednich materiałów, rozwiązań konstrukcyjnych, powłok ochronnych i ewentualnie naddatek grubości elementu) należy projektować stosownie do przewidywanego okresu eksploatacji, stopnia agresywności korozyjnej środowiska, a także warunków konserwacji i renowacji powłok ochronnych.

b) W konstrukcjach narażonych na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych grubość ścianek kształtowników nie powinna być mniejsza niż 3 mm, a elementy rurowe (jeśli ich wewnętrzne powierzchnie nie są specjalnie zabezpieczone) powinny być szczelnie zamknięte. Wymagania te nie dotyczą konstrukcji ze stali trudnordzewiejącej.

W każdym przypadku przez odpowiednie ukształtowanie konstrukcji, wypełnienie elementów lub specjalne otwory należy umożliwić odpływ wody opadowej.

c) W instrukcji zabezpieczenia przeciwkorozyjnego należy określić sposób przygotowania (stopień czystości) powierzchni, rodzaj i grubość powłok ochronnych oraz warunki techniczne ich wykonania, odbioru i renowacji.

d) Zabezpieczenie konstrukcji przed ogniem przez czynne lub bierne środki ochrony należy projektować wg specjalnych przepisów, stosownie do wymaganej klasy odporności ogniowej obiektu i poszczególnych elementów.

## 4. ELEMENTY KONSTRUKCJI

### 4.1. Postanowienia ogólne

**4.1.1. Złożony stan naprężenia.** Jeśli inne przepisy nie stanowią inaczej, a w szczególności, gdy początek uplastycznienia materiału utożsamia się ze stanem granicznym, to w przypadku elementów lub ich części będących w złożonym stanie naprężenia należy dodatkowo sprawdzić warunek (1).

#### 4.1.2. Osłabienie elementu otworami na łączniki

- a) Jeśli wskaźnik osłabienia przy rozciąganiu ( $\psi_{ot}$ ), ściskaniu ( $\psi_{oc}$ ) lub ścinaniu ( $\psi_{ov}$ ) jest mniejszy od jedności, to odpowiednio do stanu naprężenia należy dodatkowo sprawdzić warunki nośności podane w tabl. 5.
- b) Wskaźnik osłabienia  $\psi_{oc}$  ma zastosowanie wtedy, gdy w strefie ściskanej elementu występują otwory powiększone (tabl. 14) lub nie wypełnione łącznikami; w pozostałych przypadkach przyjmuje się  $\psi_{oc} = 1$ .
- c) Naprężenia w rozpatrywanej, osłabionej części elementu należy obliczać jak w przypadku elementów nie osłabionych - na podstawie cech geometrycznych przekroju brutto.
- d) Sprowadzone pole przekroju przy rozciąganiu  $A_{\psi}$  oblicza się następująco:
  - dla elementu pojedynczego (ścianki, blachy)

$$A_{\psi} = A_n \frac{0,8R_m}{R_e} \text{ lecz } A_{\psi} \leq A \quad (5)$$

gdzie  $A_n$  - pole najmniejszego płaskiego lub łamanego przekroju netto; rys. 13;  $A_n = \min(A_1, A_2)$ ,  
- dla elementu złożonego (kształtownika)

$$A_{\psi} = \sum A_{i\psi} \quad (6)$$

przy czym  $A_{i\psi}$  - wg wzoru (5).

Tablica 5

| Stan naprężenia w rozpatrywanej części (ściance) osłabionej otworami                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Wskaźnik osłabienia                                       | Warunek nośności                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Rozciąganie równomierne ( $\Delta\sigma = 0$ ) lub mimośrodowe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\psi_{ot} = \frac{A_{t\psi}}{A_t}$                       | $\sigma_{et} = \frac{\bar{\sigma}}{\psi_{ot}} + \Delta\sigma \leq f_d$ |
| Ściskanie równomierne ( $\Delta\sigma = 0$ ) lub mimośrodowe (por. poz. b)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\psi_{oc} = \frac{A_{cn}}{A_c}$                          | $\sigma_{ec} = \frac{\bar{\sigma}}{\psi_{oc}} + \Delta\sigma \leq f_d$ |
| Ścinanie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\psi_{ov} = \frac{A_{vn}}{A_v} \cdot \frac{0,8R_m}{R_e}$ | $\tau_e = \frac{\bar{\tau}}{\psi_{ov}} \leq 0,58f_d$                   |
| Złożony stan naprężenia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\psi_{ot}, \psi_{oc}, \psi_{ov}$                         | $\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} \leq f_d$                               |
| Oznaczenia:<br>$A_t, A_{t\psi}$ - pole przekroju części rozciąganej brutto, sprowadzone,<br>$A_c, A_{cn}$ - pole przekroju części ściskanej brutto, netto,<br>$A_v, A_{vn}$ - pole części przekroju czynnej przy ścinaniu brutto, netto (tabl. 7),<br>$\bar{\sigma}, \Delta\sigma$ - naprężenia normalne średnie i od zginania ( $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \bar{\sigma}$ ) obliczone na podstawie cech geometrycznych przekroju brutto,<br>$\bar{\tau}$ - średnie naprężenie styczne ( $\tau = V/A_v$ ). |                                                           |                                                                        |

W przypadku kształtowników osłabienie otworami rozpatruje się dla każdej (*i*-tej) ścianki indywidualnie, a następnie wyznacza się sumaryczne pole przekroju.

#### 4.1.3. Klasyfikacja przekrojów

**Klasa 1.** Przekroje klasy 1 mogą osiągnąć nośność uogólnionego przegubu plastycznego, a w stanie pełnego uplastycznienia przy zginaniu wykazują zdolność do obrotu, niezbędną do plastycznej redystrybucji momentów zginających.

**Klasa 2.** Przekroje klasy 2 mogą osiągnąć nośność uogólnionego przegubu plastycznego, lecz wskutek miejscowej niestateczności plastycznej wykazują ograniczoną zdolność do obrotu, uniemożliwiającą redystrybucję momentów zginających.

Tablica 6

| Poz.                                                                                                                 | Podparcie ścianki - miarodajna szerokość b | Obciążenie ścianki - rozkład naprężeń | Graniczna smukłość ścianki                                             |                                                 |                                               |                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                                                      |                                            |                                       | $\max\left(\frac{b}{t}\right)$                                         |                                                 | $\min\left(\frac{b}{t}\right)$                |                                                      |
|                                                                                                                      |                                            |                                       | dla przekroju klasy                                                    |                                                 |                                               |                                                      |
|                                                                                                                      |                                            |                                       | 1                                                                      | 2                                               | 3                                             | 4                                                    |
| a)                                                                                                                   |                                            |                                       | 33 ε                                                                   | 39 ε                                            | 42 ε                                          |                                                      |
|                                                                                                                      |                                            |                                       | $\frac{1}{\alpha} 33 \varepsilon$                                      | $\frac{1}{\alpha} 39 \varepsilon$               | $\frac{42 \varepsilon}{K_2}$                  |                                                      |
|                                                                                                                      |                                            | $\alpha = \frac{1}{2}$                | 66 ε                                                                   | 78 ε                                            | 105 ε                                         |                                                      |
| b)                                                                                                                   |                                            |                                       | 9 ε                                                                    | 10 ε                                            | 14 ε                                          |                                                      |
|                                                                                                                      |                                            |                                       | $\frac{1}{\alpha} 9 \varepsilon$                                       | $\frac{1}{\alpha} 10 \varepsilon$               | $\frac{42 \varepsilon}{K_1}$                  |                                                      |
|                                                                                                                      |                                            |                                       | $\frac{1}{\alpha \sqrt{\alpha}} 9 \varepsilon$                         | $\frac{1}{\alpha \sqrt{\alpha}} 10 \varepsilon$ | -                                             |                                                      |
| c) <sup>1)2)</sup>                                                                                                   |                                            |                                       | $\alpha = 1 \left( \nu = 1 \right)$                                    | 23 ε                                            | 25 ε                                          | 28 ε                                                 |
|                                                                                                                      |                                            |                                       | $\frac{1}{2} \leq \alpha \leq 1$<br>$\left( 0 \leq \nu \leq 1 \right)$ | $\frac{23 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$   | $\frac{25 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$ | $\frac{\left( 42 - 14 \nu \right) \varepsilon}{K_2}$ |
|                                                                                                                      |                                            |                                       | $\alpha = \frac{1}{2} \left( \nu = 0 \right)$                          | 65 ε                                            | 71 ε                                          | 105 ε                                                |
| d) <sup>1)</sup>                                                                                                     |                                            | ściskanie lub zginanie                | 50 ε <sup>2</sup>                                                      | 70 ε <sup>2</sup>                               | 100 ε <sup>2</sup>                            |                                                      |
| $\varepsilon = \sqrt{\frac{215}{fd}}$ ; $K_2, K_1, \nu$ - wg tabl. 8 (dla sprężystych rozkładów naprężeń)            |                                            |                                       |                                                                        |                                                 |                                               |                                                      |
| 1) Dla rur walcowanych na gorąco obowiązują wartości podane w poz. a).<br>2) Dotyczy przekrojów elementów prętowych. |                                            |                                       |                                                                        |                                                 |                                               |                                                      |

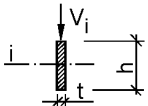
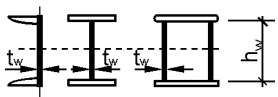
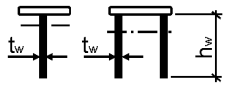
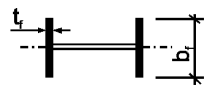
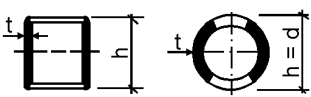
**Klasa 3.** Przekroje klasy 3 charakteryzują się tym, że ich nośność jest uwarunkowana początkiem uplastycznienia strefy ściskanej ( $\sigma_{c \max} \leq f_d$ ).

**Klasa 4.** Przekroje klasy 4 tracą nośność przy największych naprężeniach ściskających (lub średnich ścinających) mniejszych niż granica plastyczności.

Klasę przekroju tj. stopień odporności elementu na miejscową utratę stateczności należy ustalać wg tabl. 6, w zależności od warunków podparcia, rozkładu naprężeń i smukłości ścianek ( $b/t$ ).

Przekroje elementów, których ścianki nie spełniają warunków smukłości dla klasy 3 lub warunków smukłości przy ścinaniu, podanych w tabl. 7, zalicza się do klasy 4, która obejmuje przekroje elementów wrażliwych na miejscową utratę stateczności w stanie sprężystym.

Tablica 7

| Kształtownik - typ przekroju                                                      | Pole przekroju czynnego przy ścinaniu siłą $V_i^{1)}$ | Warunek smukłości <sup>2)</sup>                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|  | $A_v = 0,9ht$                                         | $\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$                   |
|  | $A_v = \Sigma h_w t_w$ <sup>3)</sup>                  | $\frac{h_w}{t_w} \leq 70\varepsilon$ <sup>4)</sup> |
|  | $A_v = \Sigma h_w t_w$                                | $\frac{h_w}{t_w} \leq 25\varepsilon$               |
|  | $A_v = 2b_f t_f$                                      | $\frac{b_f}{t_f} \leq 50\varepsilon$               |
|  | $A_v = 2(h - t)t$                                     | $\frac{h}{t} \leq 70\varepsilon$                   |

1) Podane wzory obowiązują, gdy siła poprzeczna (lub jej składowa)  $V_i$  działa w kierunku równoległym do ścianek (średników) tworzących przekrój czynny  $A_v$ .

2) Jeśli spełniony jest odpowiedni warunek smukłości, gdzie  $\varepsilon = \sqrt{215 / f_d}$ , to ścianka kształtownika jest odporna na miejscową utratę stateczności przy czystym ścinaniu ( $\varphi_{pv} = 1$ ).

3) W przypadku kształtowników walcowanych można przyjmować  $h_w = h$ , gdzie  $h$  - wysokość kształtownika.

4) W przypadku średników uźebrowanych graniczną wartość smukłości można określić wg 4.2.3.

## 4.2. Stateczność miejscowa

### 4.2.1. Zasady ogólne

- a) Poniższe postanowienia dotyczą pełnościennych elementów konstrukcji, w których występują ścianki płaskie, wrażliwe na miejscową utratę stateczności. Do takich elementów zalicza się kształtowniki o przekroju klasy 4 oraz średniki kształtowników spawanych, obciążone siłą skupioną.
- b) Przy ustalaniu parametrów stateczności należy rozróżniać kształtowniki o przekroju otwartym (walcowane, spawane lub gięte) oraz kształtowniki o przekroju zamkniętym - rurowe lub skrzynkowe. Pod pojęciem kształtownika rurowego należy rozumieć kształtownik zamknięty o profilu wielobocznym, zaokrąglonych narożach i stałej grubości ścianek.
- c) W przypadku elementów obciążonych statycznie można uwzględniać w obliczeniach stan nadkrytyczny ścianek i towarzyszący mu wzrost nośności obliczeniowej przekroju. Konstrukcje z kształtowników giętych, w których uwzględnia się pełny stan nadkrytyczny należy obliczać i projektować wg specjalnych przepisów.

### 4.2.2. Ścianki ściskane, ściskane mimośrodowo lub zginane w swojej płaszczyźnie

#### 4.2.2.1. Nośność w stanie krytycznym

- a) Smukłość względną ścianki  $\bar{\lambda}_p$  należy obliczać wg wzoru

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \cdot \frac{K}{56} \sqrt{\frac{f_d}{215}} \quad (7)$$

w którym:

- $b$ ,  $t$  - szerokość i grubość ścianki wg tabl. 6,  
 $K$  - współczynnik podparcia i obciążenia ścianki wg tabl. 8.  
b) Współczynniki niestateczności  $\varphi_p$  należy przyjmować w zależności od smukłości względnej  $\bar{\lambda}_p$ , wg tabl. 9, z wyjątkiem

kształtowników skrzynkowych i rurowych z naprężeniami spawalniczymi, dla których obowiązują zależności:

$$\varphi_p = 1 \quad \text{dla } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_{p0} = 0,75 - 0,25v$$

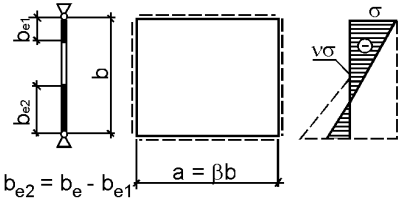
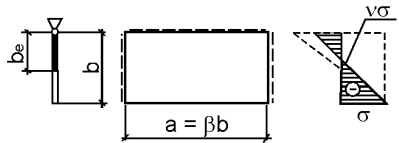
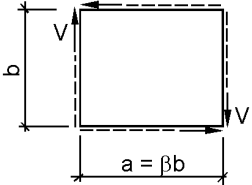
$$\varphi_p = 1,6 - 0,3v - \bar{\lambda}_p (0,8 - 0,2v)$$

$$\text{dla } \bar{\lambda}_{p0} < \bar{\lambda}_p \leq 1,35$$

$$\varphi_p - \text{wg tabl. 9} \quad \text{dla } \bar{\lambda}_p > 1,35$$

gdzie  $v$  - stosunek naprężeń średnich do największych naprężeń ściskających w rozpatrywanej ścianie (tabl. 8).

Tablica 8

| Schemat podparcia i obciążenia ścianki                                                                                                                      | Zakres ważności                       | Współczynnik $K$                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $b_{e1} = (0,3 + 0,2v)b_e$<br><br>$b_{e2} = b_e - b_{e1}$<br>$a = \beta b$ | $\beta \geq 1$<br>$0 \leq v \leq 1$   | $K_2 = 0,4 + 0,6v$                               |
|                                                                                                                                                             | $v \leq 0$                            | $K_2 = 0,4/(1-v)$                                |
| <br>$a = \beta b$                                                         | $\beta \geq 1,6$<br>$0 \leq v \leq 1$ | $K_1 = 2,2 + 0,8v$                               |
|                                                                                                                                                             | $\beta < 1$<br>$0,5 \leq v \leq 1$    | $K'_2 = \frac{2K_2}{\beta + \frac{1}{\beta}}$    |
| <br>$a = \beta b$                                                        | $\beta \geq 1$                        | $K_v = 0,65 \sqrt{2 - \frac{1}{\beta}} \leq 0,8$ |
|                                                                                                                                                             | $\beta < 1$                           | $K_v = 0,65 \beta \sqrt{2 - \beta}$              |

Tablica 9



| Smukłość względna | Współczynniki niestateczności miejscowej <sup>1)</sup> |                                 |
|-------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|
| $\bar{\lambda}_p$ | $\varphi_p$                                            | $\varphi_{pe} (\sigma_c = f_d)$ |
| $\leq 0,75$       | 1                                                      | 1                               |
| 0,80              | 0,956                                                  | 0,956                           |
| 0,85              | 0,911                                                  | 0,911                           |
| 0,90              | 0,870                                                  | 0,870                           |
| 0,95              | 0,834                                                  | 0,834                           |
| 1,00              | 0,800                                                  | 0,800                           |
| 1,05              | 0,740                                                  | 0,769                           |
| 1,10              | 0,687                                                  | 0,741                           |
| 1,15              | 0,640                                                  | 0,715                           |
| 1,20              | 0,598                                                  | 0,691                           |
| 1,25              | 0,560                                                  | 0,669                           |
| 1,30              | 0,526                                                  | 0,649                           |
| 1,35              | 0,495                                                  | 0,629                           |
| 1,40              | 0,467                                                  | 0,611                           |
| 1,45              | 0,441                                                  | 0,594                           |
| 1,50              | 0,418                                                  | 0,578                           |
| 1,55              | 0,397                                                  | 0,563                           |
| 1,60              | 0,377                                                  | 0,549                           |
| 1,65              | 0,359                                                  | 0,536                           |
| 1,70              | 0,342                                                  | 0,523                           |
| 1,75              | 0,327                                                  | 0,511                           |
| 1,80              | 0,312                                                  | 0,500                           |
| 1,85              | 0,299                                                  | 0,489                           |
| 1,90              | 0,286                                                  | 0,479                           |
| 1,95              | 0,275                                                  | 0,469                           |
| 2,00              | 0,264                                                  | 0,459                           |
| 2,05              | 0,254                                                  | 0,450                           |
| 2,10              | 0,244                                                  | 0,442                           |
| 2,15              | 0,235                                                  | 0,434                           |
| 2,20              | 0,227                                                  | 0,426                           |
| 2,25              | 0,219                                                  | 0,418                           |
| 2,30              | 0,211                                                  | 0,411                           |
| 2,35              | 0,204                                                  | 0,404                           |
| 2,40              | 0,197                                                  | 0,397                           |
| 2,45              | 0,191                                                  | 0,391                           |
| 2,50              | 0,185                                                  | 0,384                           |
| 2,55              | 0,179                                                  | 0,378                           |
| 2,60              | 0,173                                                  | 0,372                           |
| 2,65              | 0,168                                                  | 0,367                           |
| 2,70              | 0,163                                                  | 0,361                           |
| 2,75              | 0,159                                                  | 0,356                           |
| 2,80              | 0,154                                                  | 0,351                           |
| 2,85              | 0,150                                                  | 0,346                           |
| 2,90              | 0,146                                                  | 0,341                           |
| 2,95              | 0,142                                                  | 0,337                           |
| 3,00              | 0,138                                                  | 0,332                           |

<sup>1)</sup> Równania krzywych
  

$$\varphi_p = 0,8 (\bar{\lambda}_p)^{-0,8} \quad dla \quad 0,75 \leq \bar{\lambda}_p \leq 1$$

$$\varphi_p = 0,8 (\bar{\lambda}_p)^{-1,6} \quad dla \quad 1 \leq \bar{\lambda}_p \leq 3$$

$$\varphi_{pe} = 0,8 (\bar{\lambda}_p)^{-0,8} \quad dla \quad 0,75 \leq \bar{\lambda}_p \leq 3$$

c) Warunek stateczności ścianki w jednoosiowym stanie naprężenia jest określony następująco

$$\frac{\sigma_c}{\varphi_p f_d} \leq 1 \quad (9)$$

gdzie  $\sigma_c$  - największe naprężenia ściskające w rozpatrywanej ściance.

#### 4.2.2.2. Cechy przekroju w stanie nadkrytycznym

a) Szerokość współpracującą ścianki  $b_e$  w stanie nadkrytycznym można obliczać wg wzoru

$$b_e = \varphi_{pe} b \quad (10)$$

Współczynnik niestateczności  $\varphi_{pe}$  należy przyjmować wg tabl. 9, z wyjątkiem kształtowników skrzynkowych i rurowych z naprężeniami spawalniczymi, dla których obowiązują zależności:

$$\begin{aligned} \varphi_{pe} &= 1 \text{ dla } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_{p0} = 0,75 - 0,25v \quad (11) \\ \varphi_{pe} &= 1,6 - 0,4v - \bar{\lambda}_p (0,8 - 0,4v) \\ &\text{dla } \bar{\lambda}_{p0} < \bar{\lambda}_p \leq 1 \\ \varphi_{pe} &= \text{wg tabl. 9, dla } \bar{\lambda}_p > 1 \end{aligned}$$

gdzie  $v$  - jak we wzorze (8).

b) Jeśli największe naprężenia ściskające  $\sigma_c$  w przekroju współpracującym są ograniczone do wartości mniejszej niż  $f_d$ , to można zamiast  $\varphi_{pe}$  przyjmować

$$\begin{aligned} \varphi_{pe, \sigma} &= \frac{f_d}{\sigma_c} \left\{ \varphi_p + (\varphi_{pe} - \varphi_p) \frac{\sigma_c / f_d - \varphi_p}{1 - \varphi_p} \right\}, \quad (12) \\ \text{lecz } \varphi_{pe, \sigma} &\leq 1 \end{aligned}$$

c) Przekrój współpracujący elementu w stanie nadkrytycznym ustala się określając wielkość i rozmieszczenie odcinków szerokości współpracującej  $b_e$  jego poszczególnych ścianek (tabl. 8). Dla tak zredukowanego przekroju oblicza się miarodajne cechy geometryczne, a w szczególności jego pole  $A_e \leq A$  oraz wskaźnik wytrzymałości  $W_e \leq W$ .

W przypadku ściskania ze zginaniem można przyjmować pole  $A_e$  ustalone jak przy równomiernym ściskaniu, a wskaźnik  $W_e$  - ustalony jak przy czystym zginaniu.

Jeśli środek ciężkości przekroju współpracującego (ustalonego przy założeniu równomiernego ściskania) jest przesunięty względem położenia pierwotnego o wielkość  $e$ , to należy uwzględnić w obliczeniach dodatkowe zginanie momentem  $\Delta M = Ne$ .

#### 4.2.2.3. Współczynnik redukcyjny $\psi$ nośności obliczeniowej przekroju jest określony następująco:

- w stanie krytycznym

$$\psi = \varphi_p \quad (13)$$

- w stanie nadkrytycznym

$$\begin{aligned} \psi &= \psi_e \quad (14) \\ \text{gdzie } \psi_e &= \frac{A_e}{A} \text{ lub } \frac{W_{ec}}{W_c} \end{aligned}$$

- w stanie nadkrytycznym ograniczonym (p. 4.2.2.2 b), tj. gdy naprężenia  $\sigma_c$  w przekroju współpracującym ścianki podpieranej

(o największej smukłości  $\bar{\lambda}_{p \max}$ ) są ograniczone do wartości wynikającej ze stanu krytycznego ścianki podpierającej ( $\sigma_c = \varphi_p f_d$ , gdzie  $\varphi_p$  dla  $\bar{\lambda}_p < \bar{\lambda}_{p \max}$ ).

$$\psi = \varphi_p \cdot \psi_e \quad (15)$$

Dla kształtowników, w których występują wyłącznie ścianki jednostronnie usztywnione (tj. dla kątowników, teowników i elementów o przekroju krzyżowym), a także dla innych kształtowników narażonych na obciążenia wielokrotnie zmienne lub uderowe należy przyjmować  $\psi$  wg wzoru (13).

W pozostałych przypadkach można i zaleca się przyjmować  $\psi$  wg wzoru (15).

**4.2.3. Ścianki ścinane.** Nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu siłą poprzeczną  $V$  jest określona wzorem

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d \quad (16)$$

w którym:

$\varphi_{pv}$  - współczynnik niestateczności przy ścinaniu:

$$\varphi_{pv} = 1 / \bar{\lambda}_p, \text{ lecz } \varphi_{pv} \leq 1 \quad (17)$$

$$\text{dla } \bar{\lambda}_p \leq 5,$$

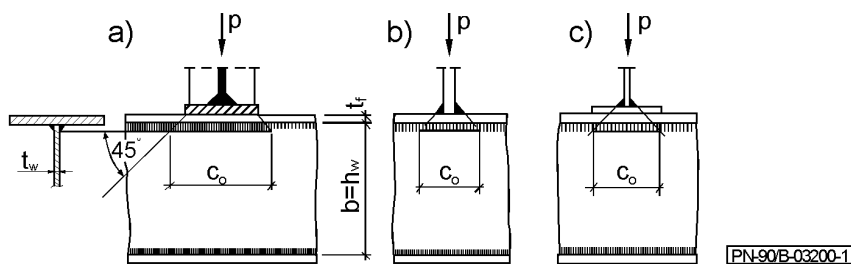
$\bar{\lambda}_p$  - smukłość względna, którą należy obliczać wg wzoru (7), przyjmując miarodajną szerokość ścianki  $b$  równą rozstawowi usztywnień podłużnych oraz współczynnik  $K = K_v$  wg tabl. 8.  
 $A_v$  - pole przekroju czynnego przy ścinaniu wg tabl. 7.

**4.2.4. Środniki pod obciążeniem skupionym.** Nośność obliczeniową środnika obciążonego siłą skupioną  $P$  należy obliczać wg wzoru

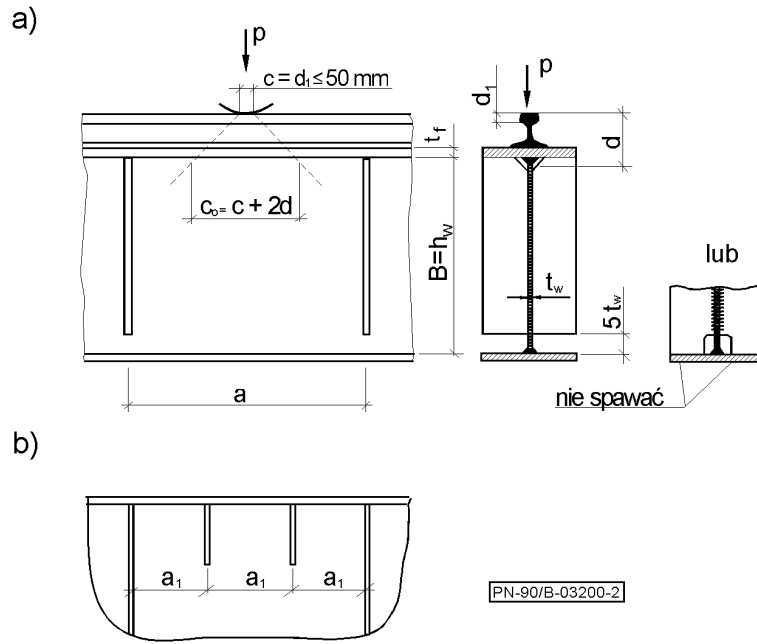
$$P_{Rc} = k_c t_w^2 f_d \quad (18)$$

w którym:

$k_c$  - współczynnik, który należy obliczać następująco:  
 - gdy siła działa stacjonarnie (rys. 1)



Rys. 1



Rys. 2

$$k_c = \left( 15 + 25 \frac{c_0}{h_w} \right) \sqrt{\frac{t_f}{t_w} \cdot \frac{215}{f_d}} \text{ lecz } k_c \leq \frac{c_0}{t_w} \quad (19)$$

- gdy siła może zmieniać położenie wzdłuż belki (rys. 2a) powinien być dodatkowo spełniony warunek

$$k_c \leq 20 \sqrt{\frac{215}{f_d}} \quad (20)$$

przy czym w przypadku dodatkowego usztywnienia środnika żebrami krótkimi (rys. 2b) o rozstawie  $a_1 < 2c_0$  i długości równej  $2/3$  szerokości strefy ściskanej, można przyjmować

$$k_c \leq \frac{c_0}{a_1} 40 \sqrt{\frac{215}{f_d}} \quad (21)$$

Jeśli naprężenia ściskające  $\sigma_c$  w środniku, skierowane wzdłuż styku z pasem są większe niż  $0,5f_d$  to należy przyjmować nośność obliczeniową zredukowaną

$$P_{Rc, red} = P_{Rc} \eta_c \quad (22)$$

gdzie  $\eta_c$  - współczynnik redukcyjny, który dla

$$0,5f_d < \sigma_c \leq f_d \text{ wynosi}$$

$$\eta_c = 1,25 - 0,5 \frac{\sigma_c}{f_d} \quad (23)$$

W przypadku łożysk o przekroju klasy 4 obowiązuje warunek (24).

**4.2.5. Środniki w złożonym stanie naprężenia.** Stateczność łożysk obciążonych w ogólnym przypadku siłami  $N_w$ ,  $M_w$ ,  $V$  i  $P$  należy sprawdzać wg wzoru

$$\left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} + \frac{P}{P_{Rc}} \right)^2 - 3\varphi_p \left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} \right) \frac{P}{P_{Rc}} + \left( \frac{V}{V_R} \right)^2 \leq 1 \quad (24)$$

w którym:

$N_{Rw}$ ,  $M_{Rw}$  - nośność obliczeniowa łożyska przy ściskaniu, przy zginaniu; w przypadku obciążeń statycznych i braku siły skupionej ( $P = 0$ ) można przyjmować nośność w stanie nadkrytycznym,

$\varphi_p$  - współczynnik niestateczności ścianki wg 4.2.2,

$P_{Rc}$  - wg wzoru (18),

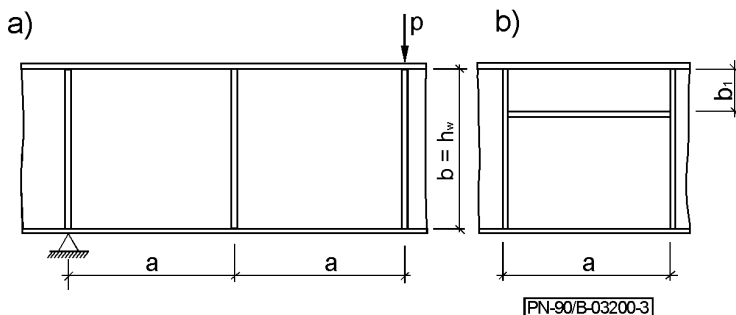
$V_R$  - wg wzoru (16).

Przy sprawdzaniu stateczności łożysk z żebrami krótkimi (rys. 2b), nie uwzględnia się żeber krótkich, a we wzorze (24) należy przyjąć  $P = 0$ .

#### 4.2.6. Żebra usztywniające

##### 4.2.6.1. Zalecenia konstrukcyjne

a) Żebra usztywniające (rys. 3) projektuje się z płaskowników lub kształtowników, jako jednostronne lub dwustronne, spawane lub nitowane.



Rys. 3

b) Żebra poprzeczne stosuje się w miejscach działania znacznych obciążeń skupionych, na podporach, w strefach węzłów sztywnych, a także w innych miejscach, gdy zachodzi potrzeba dodatkowego usztywnienia smukłych ścianek.

c) Rozstaw żeber poprzecznych w przęsłach belek o przekroju klasy 4 nie powinien być większy niż podwójna wysokość łożyska.

d) Żebra podłużne stosuje się w przypadku bardzo smukłych łożysk, lokalnie - w ściskanych strefach belek i na całej długości w elementach ściskanych (słupach).

**4.2.6.2. Żebra poprzeczne** powinny spełniać warunek sztywności

$$I_s \geq kbt^3 \quad (25)$$

gdzie:

$I_s$  - moment bezwładności przekroju żebra względem osi w płaszczyźnie środkowej łożyska - w przypadku żebra dwustronnego (rys. 4a) lub względem osi w płaszczyźnie styku - w przypadku żebra jednostronnego (rys. 4b).

$k$  - współczynnik określony wzorem

$$k = 1,5 \left( \frac{b}{a} \right)^2 \quad (26)$$

lecz  $k \geq 0,75$

$a$  - rozstaw żebier,

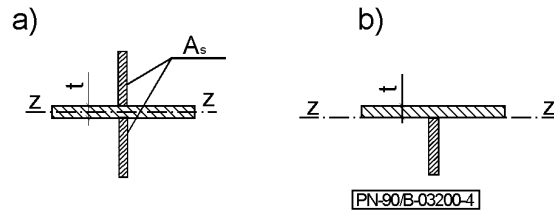
$b, t$  - szerokość i grubość ścianki usztywnionej.

Gdy uwzględnia się nośność nadkrytyczną ścianki, to należy dodatkowo sprawdzić nośność żebra, traktując je jak swobodnie podpartą (przez pasy) belkę, obciążoną w płaszczyźnie prostopadłej do ścianki:

- obciążeniem równomiernie rozłożonym, równoważnym 2% siły ściskającej w ścianie,

- siłami skupionymi (w miejscach skrzyżowania żebier) o wartościach równych 2% odpowiednich sił w żebdach podłużnych.

Żebra podporowe oraz żebra pod siłę skupioną wymiaruje się jak pręty ściskane przy długości wyboczeniowej  $l_e = 0,8h_w$ , gdzie  $h_w$  - wysokość środnika. W przypadku obciążeń statycznych można uwzględniać w obliczeniach część współpracującą środnika o szerokości  $30t_w$ .



Rys. 4

**4.2.6.3. Żebra podłużne** powinny mieć przekrój klasy nie wyższej niż 3 oraz odpowiednią sztywność, którą dobiera się z warunku (25), przyjmując właściwe dla żebier podłużnych współczynniki  $k$ .

Dla żebier usztywniających środnik belki zginanej (rys. 3b) w odległości  $b_1 = (0,25 \div 0,33) b$  od pasa ściskanego można przyjmować

$$k = 4 \frac{a}{b} \sqrt{\frac{a}{b}} \delta, \quad \text{lecz } k \geq \frac{a}{b} \quad (27)$$

$$\text{dla } \frac{1}{2} \leq \frac{a}{b} \leq 2$$

a dla żebier usztywniających ściankę ściskaną w połowie jej szerokości.

$$k = 3 \frac{a}{b} \sqrt{\frac{a}{b}} \delta, \quad \text{lecz } k \geq 0,7 \frac{a}{b} \sqrt{\frac{a}{b}} \quad (28)$$

$$\text{dla } a \geq b$$

gdzie  $\delta$  - stosunek pola przekroju żebra do pola przekroju ścianki usztywnionej (środnika), przy czym:  $0,05 \leq \delta = A_s/bt \leq 0,20$ .

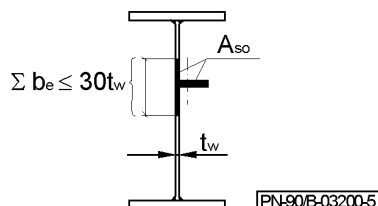
Gdy uwzględnia się stan nadkrytyczny ścianki, to należy dodatkowo sprawdzić stateczność żebra w płaszczyźnie prostopadłej do ścianki przyjmując do obliczeń:

- obliczeniowe pole przekroju żebra  $A_{s0} = A_s + \Sigma b_e t_w$  (rys. 5),

- długość wyboczeniową, równą rozstawowi żebier poprzecznych lub stężeń bocznych elementu,

- obciążenie siłą  $N_0 = A_{s0} \bar{\sigma}_0$ , gdzie  $\bar{\sigma}_0$  - średnie naprężenie w przekroju  $A_{s0}$ .

Żebra dwustronne, a także jednostronne zachowujące ciągłość na skrzyżowaniach z żebkami poprzecznymi oblicza się jak pręty ściskane osiowo. Przy braku ciągłości żebier jednostronnych należy przyjmować, że siła działa w płaszczyźnie środkowej ścianki.



### 4.3. Elementy rozciągane

#### 4.3.1. Postanowienia ogólne

- a) W przypadku prętów projektowanych jako osiowo rozciągane można pomijać zginanie wywołane ciężarem własnym, jeśli rzut poziomy długości pręta nie przekracza 6 m.
- b) Zamocowane mimośrodowo pręty pojedyncze: kątowniki zamocowane jednym ramieniem, ceowniki zamocowane środkiem oraz teowniki zamocowane półką można traktować jak osiowo obciążone pod warunkiem, że do obliczeń przyjmuje się sprowadzone pole przekroju  $A_\psi$  określone wzorem

$$A_\psi = A_1 + \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} A_2 \quad (29)$$

w którym:

$A_1$  - pole przekroju części przylgowej kształtownika: brutto - w przypadku połączenia spawanego, netto - w przypadku połączenia śrubowego lub nitowego;

$A_2$  - pole przekroju części odstającej kształtownika.

W przypadku połączenia na jeden łącznik należy przyjmować

$$A_\psi = A_{1\psi} \quad (30)$$

gdzie  $A_{1\psi}$  - sprowadzone pole przekroju części przylgowej kształtownika obliczone wg wzoru (5).

c) W przypadku obciążeń dynamicznych obowiązuje ograniczenie smukłości pręta:

$\lambda \leq 250$  - dla prętów kratownic,

$\lambda \leq 350$  - dla ciągów bez wstępnego naciągu.

d) Nośność elementów rozciąganych mimośrodowo należy sprawdzać wg 4.5.6.

**4.3.2. Nośność elementów rozciąganych osiowo** należy sprawdzać wg wzoru

$$N \leq N_{Rt} = Af_d \quad (31)$$

przy czym w przypadku elementów osłabionych otworami na łączniki (p. 4.1.2d) lub zamocowanych mimośrodowo (p. 4.3.1b) obowiązuje warunek

$$N \leq A_\psi f_d \quad (32)$$

gdzie  $A_\psi$  - sprowadzone pole przekroju.

### 4.4. Elementy ściskane

#### 4.4.1. Postanowienia ogólne

- a) W przypadku prętów projektowanych jako osiowo ściskane można pomijać zginanie wywołane ciężarem własnym, jeśli iloczyn smukłości względnej pręta w płaszczyźnie pionowej i rzutu poziomego jego długości nie przekracza 6 m.
- b) Zamocowane mimośrodowo pręty skratowania, określone w 4.3.1b) można uważać za osiowo ściskane, przy czym dodatkowo powinien być spełniony warunek (32), w którym  $A_\psi$  - wg wzoru (29).
- c) Osłabienie elementu otworami na łączniki należy uwzględnić wg 4.1.2.
- d) Smukłość pręta powinna spełniać warunek  $\lambda \leq 250$ .
- e) Nośność elementów ściskanych mimośrodowo należy sprawdzać wg 4.6.

**4.4.2. Nośność obliczeniowa przekroju przy osiowym ściskaniu**  $N_{Rc}$  jest określona następująco:

$$N_{Rc} = \psi Af_d \quad (33)$$

przy czym

- dla przekrojów klasy 1, 2 i 3 przyjmuje się  $\psi = 1$
- dla przekrojów klasy 4 przyjmuje się  $\psi$  - wg 4.2.2.3.

**4.4.3. Smukłość względna pręta przy wyboczeniu**  $\bar{\lambda}$  jest określona wzorem

$$\bar{\lambda} = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} \quad (34)$$

w którym  $N_{cr}$  - siła krytyczna wg klasycznej teorii stateczności przy wyboczeniu giętnym, skrętnym lub giętno-skrętnym; odpowiednie wzory do obliczania  $N_{cr}$  podano w załączniku 1, rozdz. 3.

Smukłość względną pręta prostego o stałym przekroju przy wyboczeniu giętnym można obliczać wg wzorów:

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_p \quad (35)$$

lub w przypadku przekroju klasy 4 ( $\psi < 1$ )

$$\bar{\lambda} = (\lambda / \lambda_p) \sqrt{\psi} \quad (36)$$

w których:

$\lambda$  - smukłość pręta (stosunek długości wyboczeniowej  $l_e$  do właściwego promienia bezwładności przekroju)

$$\lambda = \frac{l_e}{i} = \frac{\mu l_0}{i} \quad (37)$$

$\mu$  - współczynnik długości wyboczeniowej, który można przyjmować (wyznaczać) wg załącznika 1,

$l_0$  - długość obliczeniowa pręta mierzona w osiach podpór (stężeń) lub między teoretycznymi węzłami konstrukcji,

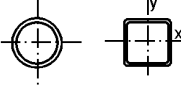
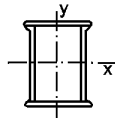
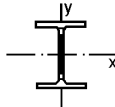
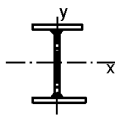
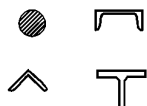
$\lambda_p$  - smukłość porównawcza:

$$\lambda_p = \frac{\pi}{1,15} \sqrt{\frac{E}{f_d}} = 84 \sqrt{\frac{215}{f_d}} \quad (38)$$

**4.4.4. Współczynnik wyboczeniowy**  $\varphi$  należy przyjmować w zależności od smukłości względnej  $\bar{\lambda}$  z tabl. 11 wg odpowiedniej krzywej wyboczeniowej ustalonej na podstawie tabl. 10.

**Tablica 10**



| Element - technologia wytwarzania, przekrój                                                                                                                                                                                       |                                                                                    | Smukłość względna                  | Krzywa wyboczeniowa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| Rurowy okrągły lub prostokątny<br>- bez naprężeń spawalniczych<br>- z naprężeniami spawalniczymi                                                                                                                                  |  | $\bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_y$ | a<br>b              |
| Skrzynkowy - spawany <sup>1/</sup> z blach lub kształtowników                                                                                                                                                                     |   | $\bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_y$ | b (a)               |
| Dwuteowy walcowany <sup>2/</sup>                                                                                                                                                                                                  |   | $\bar{\lambda}_x$                  | a (b)               |
|                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                    | $\bar{\lambda}_y$                  | b (c)               |
| Dwuteowy spawany <sup>1)</sup>                                                                                                                                                                                                    |   | $\bar{\lambda}_x$                  | b (a)               |
|                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                    | $\bar{\lambda}_y$                  | c (b)               |
| Inne elementy o przekroju pełnym lub otwartym                                                                                                                                                                                     |   | $\bar{\lambda}$                    | c                   |
| <sup>1)</sup> Kształtownikom poddanym wyżarzaniu odpężającemu można przyporządkować krzywe podane w nawiasach.<br><sup>2)</sup> Dwuteownikom szerokostopowym ( $h/b \leq 1,2$ ) należy przyporządkować krzywe podane w nawiasach. |                                                                                    |                                    |                     |

Tablica 11

| Smukłość względna                | Współczynniki niestateczności ogólnej $\varphi, \varphi_L$ (wg krzywej <sup>1)</sup> ) |           |             |             |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| $\bar{\lambda}, \bar{\lambda}_L$ | $a_0$ (n = 2,5)                                                                        | a (n = 2) | b (n = 1,6) | c (n = 1,2) |

|      |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 0,00 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 0,05 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,999 |
| 0,10 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,997 |
| 0,15 | 1,000 | 1,000 | 0,999 | 0,991 |
| 0,20 | 1,000 | 0,999 | 0,996 | 0,983 |
| 0,25 | 1,000 | 0,998 | 0,993 | 0,971 |
| 0,30 | 0,999 | 0,996 | 0,987 | 0,956 |
| 0,35 | 0,998 | 0,993 | 0,979 | 0,938 |
| 0,40 | 0,996 | 0,987 | 0,968 | 0,916 |
| 0,45 | 0,993 | 0,980 | 0,954 | 0,892 |
| 0,50 | 0,988 | 0,970 | 0,937 | 0,865 |
| 0,55 | 0,981 | 0,957 | 0,918 | 0,837 |
| 0,60 | 0,970 | 0,941 | 0,895 | 0,807 |
| 0,65 | 0,957 | 0,921 | 0,869 | 0,776 |
| 0,70 | 0,940 | 0,898 | 0,841 | 0,744 |
| 0,75 | 0,918 | 0,872 | 0,811 | 0,713 |
| 0,80 | 0,893 | 0,842 | 0,780 | 0,681 |
| 0,85 | 0,863 | 0,811 | 0,747 | 0,650 |
| 0,90 | 0,831 | 0,777 | 0,714 | 0,619 |
| 0,95 | 0,795 | 0,742 | 0,681 | 0,590 |
| 1,00 | 0,758 | 0,707 | 0,648 | 0,561 |
| 1,05 | 0,720 | 0,672 | 0,616 | 0,534 |
| 1,10 | 0,681 | 0,637 | 0,585 | 0,507 |
| 1,15 | 0,643 | 0,603 | 0,555 | 0,482 |
| 1,20 | 0,607 | 0,570 | 0,526 | 0,459 |
| 1,25 | 0,571 | 0,539 | 0,499 | 0,436 |
| 1,30 | 0,538 | 0,509 | 0,473 | 0,415 |
| 1,35 | 0,506 | 0,481 | 0,448 | 0,394 |
| 1,40 | 0,477 | 0,454 | 0,425 | 0,375 |
| 1,45 | 0,449 | 0,430 | 0,403 | 0,357 |
| 1,50 | 0,423 | 0,406 | 0,382 | 0,340 |
| 1,55 | 0,399 | 0,384 | 0,363 | 0,324 |
| 1,60 | 0,377 | 0,364 | 0,345 | 0,309 |
| 1,65 | 0,356 | 0,345 | 0,328 | 0,295 |
| 1,70 | 0,337 | 0,327 | 0,312 | 0,282 |
| 1,75 | 0,319 | 0,310 | 0,297 | 0,269 |
| 1,80 | 0,302 | 0,295 | 0,282 | 0,257 |
| 1,85 | 0,287 | 0,280 | 0,269 | 0,246 |
| 1,90 | 0,273 | 0,267 | 0,257 | 0,236 |
| 1,95 | 0,259 | 0,254 | 0,245 | 0,226 |
| 2,00 | 0,247 | 0,243 | 0,234 | 0,216 |
| 2,05 | 0,235 | 0,231 | 0,224 | 0,208 |
| 2,10 | 0,225 | 0,221 | 0,214 | 0,199 |
| 2,15 | 0,214 | 0,211 | 0,205 | 0,191 |
| 2,20 | 0,205 | 0,202 | 0,197 | 0,184 |
| 2,25 | 0,196 | 0,194 | 0,189 | 0,177 |
| 2,30 | 0,188 | 0,186 | 0,181 | 0,170 |
| 2,35 | 0,180 | 0,178 | 0,174 | 0,164 |
| 2,40 | 0,173 | 0,171 | 0,167 | 0,158 |
| 2,45 | 0,166 | 0,164 | 0,161 | 0,152 |
| 2,50 | 0,159 | 0,158 | 0,155 | 0,147 |
| 2,55 | 0,153 | 0,152 | 0,149 | 0,141 |
| 2,60 | 0,147 | 0,146 | 0,144 | 0,137 |
| 2,65 | 0,142 | 0,141 | 0,139 | 0,132 |
| 2,70 | 0,137 | 0,136 | 0,134 | 0,127 |
| 2,75 | 0,132 | 0,131 | 0,129 | 0,123 |
| 2,80 | 0,127 | 0,127 | 0,125 | 0,119 |
| 2,85 | 0,123 | 0,122 | 0,120 | 0,115 |
| 2,90 | 0,119 | 0,118 | 0,117 | 0,112 |
| 2,95 | 0,115 | 0,114 | 0,113 | 0,108 |
| 3,00 | 0,111 | 0,110 | 0,109 | 0,105 |

<sup>1)</sup> Współczynnik  $\varphi$  jest parametryczną funkcją smukłości względnej:  

$$\varphi(\bar{\lambda}) = \left(1 + \bar{\lambda}^{2n}\right)^{-\frac{1}{n}}, \text{ gdzie } n - \text{uogólniony parametr}$$
 imperfekcji.

**4.4.5. Nośność (stateczność) elementów ściskanych osiowo** należy sprawdzać wg wzoru

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} \leq 1 \quad (39)$$

w którym:

$N_{Rc}$  - nośność obliczeniowa przekroju wg 4.4.2,

$\varphi$  - współczynnik wyboczeniowy:  $\varphi = \min \varphi(\bar{\lambda})$  - wg 4.4.4.

W przypadku prętów o przekroju otwartym: monosymetrycznym, punktowo symetrycznym (np. krzyżowym) lub niesymetrycznym, oprócz wyboczenia giętnego, należy brać również pod uwagę możliwość wyboczenia giętno-skrętnego lub skrętnego, obliczając stosowną smukłość wg wzoru (34). Można nie sprawdzać stateczności giętno-skrętnej prętów z kształtowników walcowanych.

## 4.5. Elementy zginane

### 4.5.1. Postanowienia ogólne

- a) Elementy zginane względem jednej z dwu głównych osi bezwładności przekroju uważa się za zginane jednokierunkowo.
- b) Jeśli obciążenie poprzeczne elementu przy zginaniu jednokierunkowym lub dwukierunkowym (ukośnym) działa mimośrodowo względem osi środków ścinania, to należy dodatkowo uwzględniać w obliczeniach skręcanie elementu, lub stosować odpowiednie zabezpieczenie konstrukcyjne (stężenie) w celu przeniesienia momentów skręcających.
- c) Nośność elementów zginanych względem osi największej bezwładności przekroju ( $X$ ) należy sprawdzać z uwzględnieniem możliwości utraty płaskiej postaci zginania, czyli zwichrzenia.

Można przyjąć, że są konstrukcyjnie zabezpieczone przed zwichrzeniem:

- elementy, których pas ściskany jest stężony sztywną tarczą;
- dwuteowniki walcowane, gdy spełniony jest warunek

$$l_1 \leq \frac{35i_y}{\beta} \sqrt{\frac{215}{f_d}} \quad (40)$$

gdzie:

$l_1$  - rozstaw stężeń bocznych pasa ściskanego lub odległość między przekrojami zabezpieczonymi przed obrotem i przemieszczeniem bocznym,

$i_y$  - promień bezwładności przekroju względem osi  $Y$ ,

$\beta$  - wg tabl. 12, poz. a), jak dla elementu o długości  $l_0 = l_1$ ;

- elementy rurowe i skrzynkowe, gdy spełniony jest warunek

$$l_1 \leq 100b_0 \sqrt{\frac{215}{f_d}} \quad (41)$$

gdzie:

$l_1$  - jak we wzorze (40),

$b_0$  - osiowy rozstaw środków.

- d) Rozpiętość obliczeniową belek  $l_0$  należy przyjmować równą osiowemu rozstawowi podpór (łożysk), a przy oparciu powierzchniowym lub zamocowaniu w ścianach - równą:

1,05 $l$  - w przypadku belek dwustronnie podpartych lub zamocowanych,

1,025 $l$  - w przypadku wsporników lub skrajnych przęseł belek ciągłych,

przy czym  $l_0 \geq l + 0,5h$ , gdzie  $l$  - odległość w świetle między ścianami lub między łożyskiem a ścianą,  $h$  - wysokość belki.

e) Nośność środników pod obciążeniem skupionym należy sprawdzać wg 4.2.4, a w przypadku kształtowników walcowanych - wg 6.5.

f) Osłabienie elementu otworami na łączniki należy uwzględniać wg 4.1.2.

g) Przy wymiarowaniu elementów zginanych należy spełnić odpowiednie warunki sztywności podane w 3.3.2.

**4.5.2. Nośność obliczeniowa przekroju przy jednokierunkowym zginaniu**  $M_R$  jest określona następująco:

a) dla przekrojów klasy 1 i 2,

$$M_R = \alpha_p W f_d \quad (42)$$

gdzie:

$\alpha_p$  - obliczeniowy współczynnik rezerwy plastycznej przekroju przy zginaniu wg załącznika 4, rozdz. 2; współczynnik  $\alpha_p > 1$  można stosować w przypadku elementów obciążonych statycznie i zginanych w płaszczyźnie symetrii przekroju; w pozostałych przypadkach należy przyjąć  $\alpha_p = 1$ ;

$W$  - wskaźnik wytrzymałości przekroju przy zginaniu sprężystym dla najbardziej oddalonej od osi obojętnej krawędzi ściskanej ( $W_c$ ) lub rozciąganej ( $W_t$ );  $W = \min(W_c, W_t)$ ;

b) dla przekrojów klasy 3 ( $\psi = 1$ ) i 4 ( $\psi < 1$ )

$$M_R = \psi W_c f_d \quad (43)$$

$$\text{lecz, gdy } W_c > W_t = W, M_R \leq W f_d \left[ 1 + \psi (\alpha_p - 1) \right]$$

gdzie:

$\psi$  - współczynnik redukcyjny wg 4.2.2.3,

$\alpha_p$  - jak we wzorze (42),

c) w przypadku pojedynczych ceowników walcowanych, zginanych w płaszczyźnie środnika lub do niego równoległej, wpływ drugorzędowego skręcania można uwzględnić w sposób przybliżony przyjmując nośność obliczeniową zredukowaną wg wzoru

$$M_{R, \text{red}} = W f_d \left[ 0,85 - \left( \frac{V}{V_R} \frac{e t_w}{b t_f} \right)^2 \right] \quad (44)$$

w którym:

$V$  - siła poprzeczna w rozpatrywanym przekroju,

$V_R$  - nośność obliczeniowa przekroju przy ścinaniu wg wzoru (47),

$e$  - mimośród obciążenia poprzecznego (płaszczyzny zginania) względem środka ścinania przekroju, przy czym  $e \leq b$ ,

$t_w$  - grubość środnika,

$b, t_f$  - szerokość i średnia grubość półki.

d) jeśli w przekroju występuje siła poprzeczna  $V > V_0$ , gdzie  $V_0$  - jak niżej, to należy przyjmować nośność obliczeniową zredukowaną  $M_{R, V}$ , którą można obliczać następująco:

- w przypadku bisymetrycznych przekrojów dwuteowych klasy 1 i 2, zginanych względem osi największej bezwładności, gdy  $V > V_0 = 0,6 V_R$ ,

$$M_{R, V} = M_R \left[ 1,1 - 0,3 \left( \frac{V}{V_R} \right)^2 \right] \quad (45)$$

- w pozostałych przypadkach, gdy  $V > V_0 = 0,3 V_R$ ,

$$M_{R,V} = M_R \left[ 1 - \frac{I_{(v)}}{I} \left( \frac{V}{V_R} \right)^2 \right] \quad (46)$$

gdzie:

$I_{(v)}$  - moment bezwładności części przekroju czynnej przy ścinaniu względem osi obojętnej,  
 $I$  - moment bezwładności całego przekroju.

Jeśli spełniony jest odpowiedni warunek smukłości z tabl. 7, to nośność obliczeniową przy ścinaniu  $V_R$  można obliczać wg wzoru

$$V_R = 0,58 A_v f_d \quad (47)$$

W przeciwnym razie obowiązuje wzór (16).

e) w przypadku dwuteowników hybrydowych ( $f_{df} > f_{dw}$ ) nośność obliczeniową przekroju można obliczać wg wzorów:  
- przy zginaniu (względem osi  $X$ )

$$M_{R,hyb} = M_{R,f} + M_{R,w} \quad (48)$$

gdzie:

$M_{R,f}$  - nośność obliczeniowa przekroju złożonego z pasów ( $f_d = f_{df}$ )

$M_{R,w}$  - nośność obliczeniowa przekroju środniaka ( $f_d = f_{dw}$ )

- przy ścinaniu ze zginaniem

$$V_{R,M} = V_R (1 - 0,4 M / M_0) \quad (49)$$

przy czym  $M_0 = W f_{dw}$

gdzie:

$V_R$  - wg wzoru (16),

$W$  - wskaźnik wytrzymałości całego przekroju.

#### 4.5.3. Smukłość względna przy zwichrzeniu $\bar{\lambda}_L$ .

a) Smukłość  $\bar{\lambda}_L$  jest określona wzorem

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}} \quad (50)$$

gdzie  $M_{cr}$  - moment krytyczny wg klasycznej teorii stateczności; odpowiednie wzory do obliczania  $M_{cr}$  podano w załączniku 1, rozdz. 3.

b) Smukłość  $\bar{\lambda}_L$  elementów o bisymetrycznym przekroju dwuteowym, swobodnie podpartych w sposób widelkowy (tj. bez możliwości obrotu wokół osi pręta) i obciążonych momentami na podporach, można wyznaczać wg wzoru przybliżonego

$$\bar{\lambda}_L = 0,045 \sqrt{\frac{l_0 h}{b t_f} \cdot \beta \cdot \frac{f_d}{215}} \quad (51)$$

gdzie:

$l_0, h$  - rozpiętość, wysokość elementu,

$b, t_f$  - szerokość, grubość pasa (półki),

$\beta$  - wg tabl. 12, poz. a).

c) Smukłość  $\bar{\lambda}_L$  ceowników walcowanych, podpartych i obciążonych jak w poz. b) można wyznaczać wg wzoru (51), zwiększając otrzymaną wartość o 25%.

**4.5.4. Współczynnik zwichrzenia**  $\varphi_L$  należy przyjmować zależnie od smukłości względnej  $\bar{\lambda}_L$  z tabl. 11, przy czym dla elementów walcowanych oraz elementów spawanych w sposób zmechanizowany - wg krzywej niestateczności  $a_0$ , natomiast w pozostałych przypadkach - wg krzywej  $a$ .

**4.5.5. Nośność (stateczność) elementów jednokierunkowo zginanych** należy sprawdzać wg wzoru

$$\frac{M}{\varphi_L M_R} \leq 1 \quad (52)$$

gdzie:

$M_R$  - nośność obliczeniowa przekroju przy zginaniu wg 4.5.2,

$\varphi_L$  - współczynnik zwichrzenia wg 4.5.4; dla elementów zginanych względem osi najmniejszej bezwładności przekroju, a także elementów zabezpieczonych przed zwichrzeniem (p. 4.5.1c) przyjmuje się  $\varphi_L = 1$ .

W przekrojach, w których występuje siła poprzeczna ( $V > V_0$ , p. 4.5.2d) powinny być spełnione warunki:

$$M \leq M_{R,V} \text{ oraz } V \leq V_R \quad (53)$$

**4.5.6. Nośność elementów dwukierunkowo zginanych lub zginanych i rozciąganych** należy sprawdzać wg wzoru

$$\frac{N}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} \leq 1 \quad (54)$$

w którym:

$N_{Rt}$  - nośność obliczeniowa przekroju przy rozciąganiu wg wzoru (31),

$M_R, \varphi_L$  - jak we wzorze (52).

Dodatkowe sprawdzenie nośności przekrojów, w których występuje siła poprzeczna można przeprowadzać wg wzorów:

$$\frac{N}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{M_{Rx,V}} + \frac{M_y}{M_{Ry,V}} \leq 1 \quad (55)$$

$$V \leq V_{R,N} = V_R \sqrt{1 - (N / N_{Rt})^2} \quad (56)$$

gdzie  $M_{R,V}$  - nośność obliczeniowa przekroju przy zginaniu ze ścinaniem wg 4.5.2d).

## 4.6. Elementy ściskane i zginane

### 4.6.1. Zasady ogólne - parametry stateczności

a) Przy projektowaniu elementów ściskanych i zginanych obowiązują ogólne postanowienia podane w 4.4.1 i 4.5.1.

b) Poniższe zasady dotyczą elementów pełnościennych o stałym przekroju dowolnej klasy, obciążonych w ogólnym przypadku siłą podłużną  $N$  i momentami zginającymi  $M_x$  i  $M_y$ , działającymi odpowiednio względem osi największej ( $X$ ) i najmniejszej ( $Y$ ) bezwładności przekroju.

c) Nośność obliczeniową przekroju ( $N_{Rc}, M_{Rx}, M_{Ry}$ ) oraz współczynniki niestateczności ( $\varphi, \varphi_L$ ) należy ustalać jak w przypadkach prostych stanów obciążenia - ściskania lub jednokierunkowego zginania.

d) Wartości  $\beta_{max}$  należy ustalać wg tabl. 12, w zależności od warunków podparcia w rozpatrywanej płaszczyźnie wyboczenia oraz sposobu obciążenia pręta (wykresu momentów) na odcinku równym jego długości obliczeniowej  $l_0$ .

e) Składnik poprawkowy  $\Delta_i$  należy obliczać wg wzoru

$$\Delta_i = 1,25 \varphi_i \bar{\lambda}_i^2 \frac{\beta_i M_{i \max}}{M_{Ri}} \frac{N}{N_{Rc}} \leq 0,1 \quad (57)$$

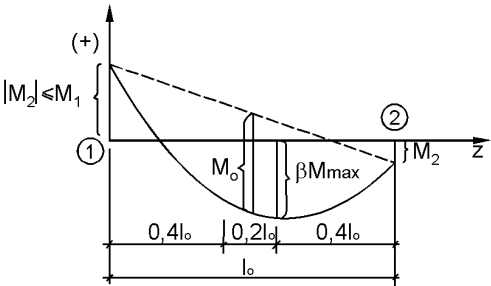
w którym wielkości z indeksem  $i = x$  lub  $y$  odpowiadają zawsze rozpatrywanej płaszczyźnie wyboczenia - względem osi  $X$  lub  $Y$ .

#### 4.6.2. Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych

a) Stateczność elementów o przekroju co najmniej monosymetrycznym ściskanych i zginanych jednokierunkowo lub dwukierunkowo należy sprawdzać wg wzoru

$$\frac{N}{\varphi_i N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x \max}}{\varphi_L M_{Rx}} + \frac{\beta_y M_{y \max}}{M_{Ry}} \leq 1 - \Delta_i \quad (58)$$

Tablica 12

| Warunki podparcia i sposoby obciążenia pręta                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                        | Wartość $\beta M_{\max}$                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                        |                                                                                       |
| a)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Pręt o węzłach wzajemnie poprzecznie nieprzesuwnych ( $\mu \leq 1$ ), obciążony momentami w węzłach podporowych ( $M_0 = 0$ )          | $\beta M_{\max} = 0,55 M_1 + 0,45 M_2$<br>lecz $\beta \geq 0,4$                       |
| b)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Pręt o węzłach wzajemnie poprzecznie przesuwnych ( $\mu > 1$ ), jednostronnie lub dwustronnie utwierdzony                              | $\beta M_{\max} = M_1 + 0,15 M_2^{1)}$<br>lecz $\beta \leq 1$                         |
| c)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Pręt podparty dwustronnie przegubowo ( $\mu = 1$ ), obciążony poprzecznie między węzłami i ewentualnie momentami w węzłach podporowych | $\beta M_{\max} = \max M (0,4 l_0 \leq z \leq 0,6 l_0)^{2)}$<br>lecz $\beta \geq 0,4$ |
| d)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | W pozostałych przypadkach, gdy nie przeprowadza się dokładnej analizy, należy przyjmować                                               | $\beta M_{\max} = M_{\max}$                                                           |
| <p><sup>1)</sup> Jeśli <math>M_{\max}</math> występuje między węzłami podporowymi, a także dla wspornika należy przyjmować <math>\beta = 1</math>.</p> <p><sup>2)</sup> Wartość <math>\beta M_{\max}</math> przyjmuje się równą największej bezwzględnej wartości momentu w środkowym przedziale pręta o długości <math>0,2 l_0</math>.</p> |                                                                                                                                        |                                                                                       |

W ogólnym przypadku powyższy warunek należy sprawdzić dwukrotnie - dla  $\varphi_x$  i  $\varphi_y$ .

Przy jednokierunkowym zginaniu bez możliwości zwichrzenia ( $\varphi_L = 1$  lub  $M_x = 0$ ) przyjmuje się  $\varphi_i$  w płaszczyźnie zginania.

W każdym przypadku, gdy współczynnik  $\varphi_i > \min \varphi(\bar{\lambda})$ , należy dodatkowo sprawdzić warunek (39).

Jeśli  $\beta < 1$  lub  $V > V_0$  (p. 4.5.2d), to należy ponadto sprawdzić warunek (54) oraz warunki nośności przekroju (55) i (56), przyjmując  $N_{Rc}$  zamiast  $N_{Rt}$ .

b) Stateczność giętno-skrętną prętów o przekroju otwartym bez osi symetrii można sprawdzać wg poz. a), przyjmując we wzorze (58) zamiast  $\varphi_L$  współczynnik wyboczeniowy  $\varphi$  ustalony dla smukłości  $\lambda_1 = l_1/i_y$ , gdzie  $l_1$  - jak we wzorze (40).

#### 4.7. Elementy wielogłazowe

##### 4.7.1. Zasady ogólne

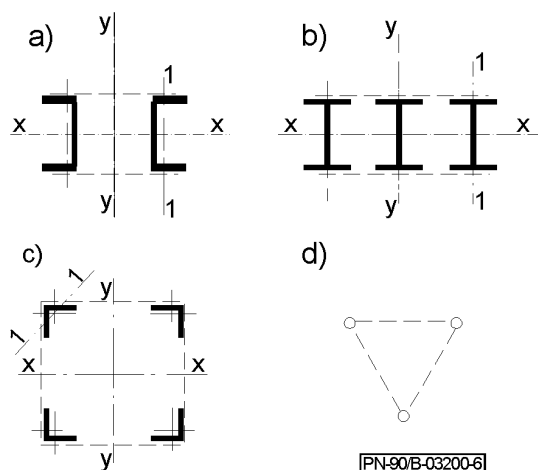
- a) Przy sprawdzaniu stateczności elementów wielogałęziowych (rys. 6) należy przyjmować smukłość zastępczą  $\lambda_m$  i określony dla niej współczynnik wyboczeniowy  $\varphi$  - wg krzywej niestateczności  $b$  lub wg krzywej właściwej dla  $\lambda$ , gdy  $\lambda_m = \lambda$ .
- b) Jeśli  $\lambda_m > \lambda$ , to obowiązują warunki nośności jak dla elementów pełnościennych o przekroju klasy 4 z tym, że do obliczeń należy przyjmować  $\psi = \varphi_1$  lub (gdy przekrój gałęzi jest klasy 4)  $\psi = \min(\varphi_1, \varphi_p)$ , gdzie:  $\varphi_1$  - współczynnik wyboczeniowy ustalony dla pojedynczej gałęzi,  $\varphi_p$  - współczynnik niestateczności miejscowej.

**4.7.2. Smukłość zastępcza** elementu wielogałęziowego jest określona wzorem

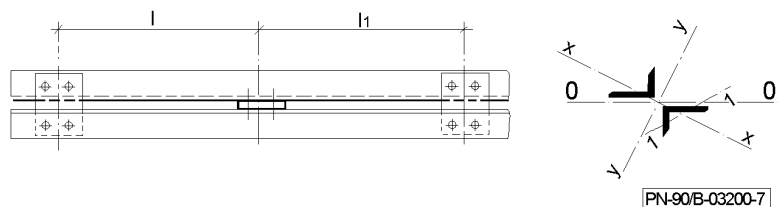
$$\lambda_m = \sqrt{\lambda^2 + \frac{m}{2} \lambda_v^2} \quad (59)$$

gdzie:

- $\lambda$  - smukłość ustalona jak dla elementu pełnościennego,  $m = 0$ , gdy rozpatruje się wyboczenie względem osi przecinającej materiał wszystkich gałęzi (rys. 6 a/ i b);  $\lambda_{mx} = \lambda_x$  lub
- $m$  - liczba gałęzi w płaszczyźnie przewiązek lub skratowania, równoległej do kierunku wyboczenia,
- $\lambda_v$  - smukłość postaciowa określona następująco:



Rys. 6



Rys. 7

- dla elementów z przewiązkami (rys. 8a)

$$\lambda_v = l_1 / i_1 \quad (60)$$

- $l_1$  - odcinek równy osiowemu rozstawowi przewiązek, lecz nie większy niż odstęp między nimi zwiększony o 100 mm,
- $i_1$  - najmniejszy promień bezwładności przekroju gałęzi;

- dla elementów kratowych (rys. 8 b) ÷ d)



$$\lambda_v = 5,3 \sqrt{\frac{A}{nA_\alpha}} \quad (61)$$

$$\text{przy czym } A_\alpha = A_D \cdot \operatorname{tg} \alpha \text{ lecz } A_\alpha \leq A_D \quad (61)$$

$A$  - pole przekroju wszystkich gałęzi,

$n$  - liczba płaszczyzn skratowania w kierunku wyboczenia; dla elementów trójkątnych (rys. 6 d) przyjmuje się  $n = 1,5$ ,

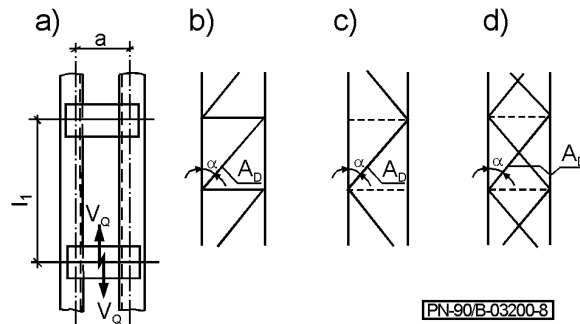
$A_D$  - pole przekroju krzyżulca lub krzyżulców w przedziale skratowania,

$\alpha$  - kąt między osiami krzyżulca i gałęzi.

W przypadku skratowania, jak na rys. 8b), smukłość  $\lambda_v$  należy zwiększyć o 25%.

Pręty złożone z dwóch kątowników ustawionych krzyżowo (rys. 7;  $l_1/l_2 \leq 60$ ) należy sprawdzać na wyboczenie względem osi  $X$ , przyjmując długość wyboczeniową  $l_{ex}$  równą średniej arytmetycznej długości wyboczeniowych w płaszczyznach równoległych do ramion kątowników.

W przypadku kątowników nierównoramiennych można przyjmować  $i_x \approx 0,8i_0$ .



Rys. 8

**4.7.3. Przewiązki i skratowania** należy wymiarować na siły wynikające z obciążenia siłą poprzeczną  $Q$

$$Q = 1,2V \text{ lecz } Q \geq 0,012 A f_d \quad (62)$$

gdzie  $V$  - siła poprzeczna w elemencie wielogałęziowym od obciążenia zewnętrznego.

Siłę poprzeczną i moment w przewiązkach elementów dwugałęziowych ( $m = 2$ ; rys. 8a), a także wielogałęziowych ( $m > 2$ ) można obliczać wg wzorów:

$$V_Q = \frac{Q l_1}{n(m-1)a} \text{ oraz } M_Q = \frac{Q l_1}{m n} \quad (63)$$

w których:

$n$  - liczba płaszczyzn przewiązek,

$a, l_1$  - rozstaw gałęzi, rozstaw przewiązek.

Przewiązki należy rozmieszczać regularnie przy nieparzystej liczbie przedziałów. Przewiązki pośrednie powinny mieć szerokość  $b \geq 100 \text{ mm}$ , a skrajne co najmniej  $1,5b$ .

Połączenia przewiązek lub prętów skratowania z gałęziami projektuje się jako spawane, nitowe lub śrubowe cierne; wyjątkowo stosuje się połączenia śrubowe pasowane.

## 5. UKŁADY KONSTRUKCYJNE - STATECZNOŚĆ OGÓLNA

### 5.1. Zasady i wymagania ogólne

- a) Układy konstrukcyjne powinny mieć zapewnioną stateczność ogólną tj. zdolność do skutecznego przeciwdziałania zmianom kształtu i położenia w warunkach realizacji i eksploatacji, a także przy rozbudowie, remontach i demontażu konstrukcji.
- b) Stateczność ogólną można zapewnić przez odpowiednie ukształtowanie (usztynwienie) konstrukcji, a w przypadku układów, które nie są samostateczne lub wystarczająco sztywne - przez odpowiedni system stężeń stałych lub montażowych. Jako stężenia można stosować dodatkowe pręty (zastrzały), skratowania, odciąg; można także wykorzystywać w tym celu trzony żelbetowe i sztywne tarcze tj. elementy stropów i ścian, w tym lekkiej obudowy z blach fałdowych.
- c) Projektując stężenia należy zapewnić:
- przeniesienie na fundamenty wszelkich obciążeń i oddziaływań poziomych,
  - odpowiednią sztywność konstrukcji wymaganą ze względu na stan graniczny użytkowania, jak również ze względu na boczne podparcie (stężenie) elementów ściskanych i układów ramowych,
  - odpowiednie warunki montażu i rektyfikacji konstrukcji na placu budowy.
- d) Części konstrukcji oddzielone dylatacjami powinny być stężone w sposób wzajemnie niezależny. W przypadku dylatacji termicznych należy uwzględniać postanowienia 3.5.1.

### 5.2. Podparcia boczne elementów ściskanych

- a) Element można uważać za podparty (stężony) nieprzesuwne w kierunku bocznym prostopadłym do jego osi, jeśli w miejscu podparcia jest on połączony bezpośrednio lub powiązany pośrednio (za pomocą dodatkowych prętów) z konstrukcją sztywną i stateczną.

Za konstrukcję sztywną można uważać układ tarczowy, tarczowoprętowy lub prętowy (np. tężnik kratowy), jeśli może on przenieść dodatkowe siły boczne  $F_m$  - wg wzoru (64), a ponadto jeśli w warunkach działających obciążeń wzajemne przemieszczenia sąsiednich punktów podparcia (w rozpatrywanym kierunku) nie przekraczają  $1/200$  odległości między nimi (rys. 9).

- b) Podparcie ściskanych pasów dźwigarów dachowych płatwiami lub innymi elementami można uważać za nieprzesuwne, jeśli każde połączenie w miejscu podparcia może przenieść przypadającą na nie siłę  $F_0$  - wg wzoru (65), a elementy podpierające wskutek ich zespolenia ze sztywnym pokryciem są konstrukcyjnie zabezpieczone przed utratą stateczności w płaszczyźnie połączenia dachowej.

- c) Jeśli boczne podparcie realizuje się w sposób pośredni (rys. 10), to każdy pręt podpierający jeden ( $m = 1$ ) lub pośrednio więcej ( $m > 1$ ) elementów ściskanych powinien przenieść i przekazać w kierunku stężenia stosowną (zależną od liczby  $m$ ) siłę podłużną o wartości równej

$$F_m = \frac{2}{1 + \sqrt{m}} \cdot \sum_{i=1}^m F_{oi} \quad (64)$$

przy czym

$$F_0 = 0,01N_c \text{ lecz } F_0 \geq 0,005A_c f_d \quad (65)$$

gdzie:

$N_c$  - siła podłużna w słupie lub siła w pasie kratownicy (w miejscu podparcia) lub wypadkowa naprężeń normalnych w ściskanej strefie przekroju dźwigara pełnościennego (w miejscu podparcia),

$A_c$  - pole przekroju słupa, pasa ściskanego lub ściskanej strefy przekroju dźwigara pełnościennego.

Jeśli siła ściskająca w elemencie podpieranym (w słupie) jest stała ( $N_c = \text{const}$ ), a liczba pośrednich punktów podparcia jest większa niż jeden, to do obliczeń można przyjmować siły boczne o wartościach równych

$$F_0 = 0,01N_c \sqrt{\frac{l' + l''}{l}} \quad (66)$$

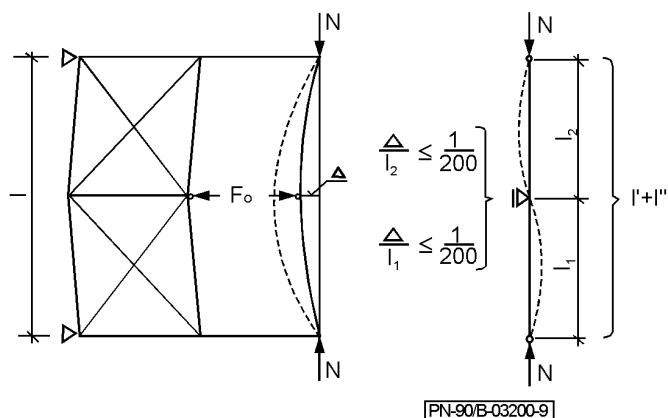
gdzie:

$l'$ ,  $l''$  - odległości rozpatrywanego punktu podparcia od sąsiednich punktów podparcia,

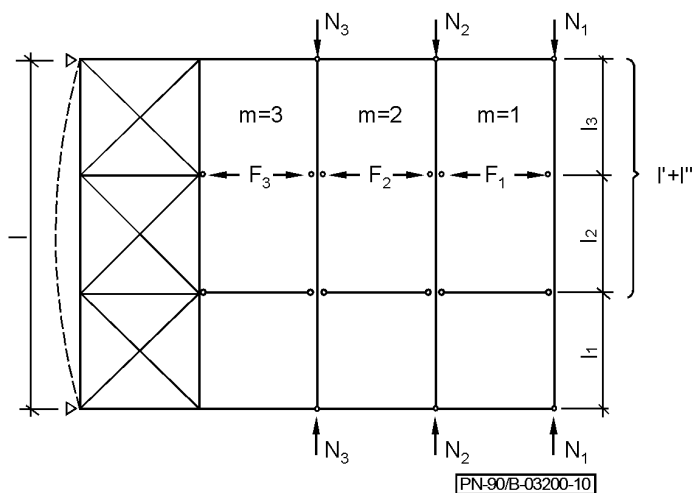
$l$  - długość (rozpiętość) elementu podpieranego.

### 5.3. Stężenia dachowe

- a) Stężenia połaciowe poprzeczne należy stosować na całej szerokości dachu, co najmniej w dwóch skrajnych lub przedskrajnych polach siatki podpór, a także w tych polach, w których występują stężenia ścian podłużnych.
- b) Stężenia podłużne stosuje się w płaszczyźnie połaci dachowej lub w poziomym pasów dolnych, gdy zachodzi konieczność przeniesienia sił poziomych prostopadłych do ścian podłużnych.



Rys. 9



Rys. 10

- c) Stężenia pionowe (skratowania między dźwigarami) należy stosować co najmniej w tych polach, w których występują poprzeczne stężenia połaciowe, a w uzasadnionych przypadkach na całej długości dachu.
- Stężenia pionowe należy rozmieszczać w środku rozpiętości dźwigara lub gęściej, a w przypadku dźwigarów ze słupkami podporowymi - również w linii podpór. Rozstaw stężeń, a także odległość najbliższego stężenia od linii podpór nie powinna być większa niż 15 m.

Pasy górne dźwigarów powinny być wzajemnie powiązane (stężone pośrednio płaciami lub dodatkowymi prętami prostopadłymi) w płaszczyznach stężeń pionowych lub gęściej, gdy wymaga tego stateczność pasów.

W przypadku hal z suwnicami o udźwigu  $Q \geq 15$  Mg, a także dachów bezpłatwowych powyższe wymaganie dotyczy również pasów dolnych dźwigarów kratowych.

### 5.4. Układy ramowe (szkieletowe)

#### 5.4.1. Ogólny podział ram

- a) Ramę można uważać za sztywno stężoną w swojej płaszczyźnie, czyli za układ o węzłach nieprzesuwnych, jeśli sztywność

postaciowa układu "rama + stężenie" ( $RS$ ) jest co najmniej pięciokrotnie większa niż sztywność postaciowa ramy ( $R$ ), tzn.:

$$\frac{1}{\psi_{RS}} \geq \frac{5}{\psi_R} \quad (67)$$

gdzie  $\psi_{RS}$ ,  $\psi_R$  - odpowiednie wartości przechyłu od poziomej siły jednostkowej; przechył należy interpretować jako tangens kąta obrotu cięciwy słupa między punktami podparcia.

b) Ramy samostateczne (tj ramy o węzłach sztywnych, bez stężeń), a także ramy podatnie stężone, gdy nie jest spełniony warunek (67) należy uważać za układy o węzłach przesuwnych.

**5.4.2. Parametr niedoskonałości**  $\psi_0$  dla ram o prostokątnej lub zbliżonej konfiguracji prętów przyjmuje się w postaci wstępnego przechyłu kondygnacji, określonego wzorem

$$\psi_0 = \frac{1}{200} r_1 r_2 \quad (68)$$

gdzie:

$$r_1 = \sqrt{\frac{5}{h}} \quad \text{lecz} \quad r_1 \leq 1; \quad r_2 = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{1}{n}} \right)$$

$h$  - wysokość kondygnacji,  $m$ ,

$n$  - liczba słupów danej kondygnacji w rozpatrywanej płaszczyźnie.

**5.4.3. Wskaźnik wrażliwości na efekty II rzędu**  $\alpha_H$  dotyczy wielokondygnacyjnych układów ramowych o węzłach przesuwnych (rys. 11), a jego wartość należy ustalać dla każdej kondygnacji następująco:

$$\alpha_H = \frac{\Delta\psi \sum N}{\psi_0 \sum N + \sum H} \quad (69)$$

gdzie:

$\sum H$  - sumaryczne obciążenie poziome powyżej rozpatrywanej kondygnacji (siła poprzeczna od obciążenia zewnętrznego),

$\sum N$  - sumaryczne obciążenie pionowe przenoszone przez słupy rozpatrywanej kondygnacji,

$\psi_0$  - wstępny przechył rozpatrywanej kondygnacji obliczony wg wzoru (68),

$\Delta\psi$  - przyrost przechyłu spowodowany działaniem sił poziomych ( $H + H_0$ ).

Przyrost  $\Delta\psi$  można ustalać wg zależności

$$\Delta\psi = \left( 1 + \frac{\psi_0 \sum N}{\sum H} \right) \psi^I \quad (70)$$

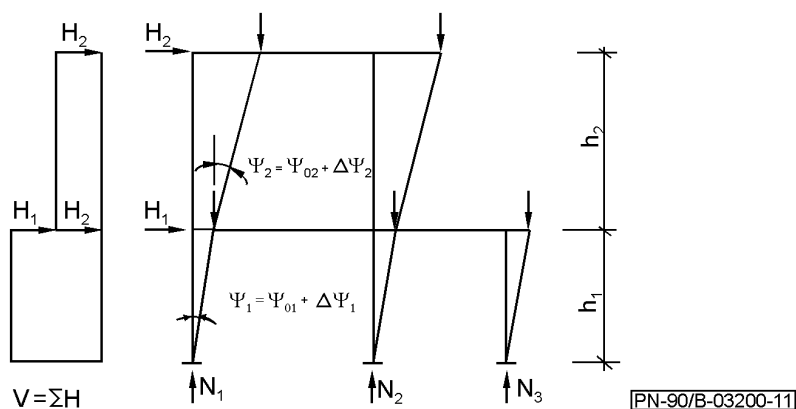
gdzie  $\psi^I$  - przechył spowodowany działaniem sił  $H$ , obliczony wg teorii I rzędu.

W przypadku braku zewnętrznego obciążenia poziomego ( $\sum H = 0$ )

$$\Delta\psi = \psi_0^I \quad (71)$$

gdzie  $\psi_0^I$  - przechył spowodowany działaniem sił  $H_0 = \psi_0 \sum P$ , przy czym  $\sum P$  - oddziaływania pionowe rygli rozpatrywanej

kondygnacji.



Rys. 11

Jeśli dla konstrukcji w stanie sprężystym dla każdej kondygnacji spełniony jest warunek  $\alpha_H \leq 0,1$ , to można przyjąć, że układ nie jest wrażliwy na efekty II rzędu.

#### 5.4.4. Zasady obliczeń statycznych

a) Według teorii I rzędu można obliczać:

- układy jednokondygnacyjne,
- układy wielokondygnacyjne sztywno stężone (p. 5.4.1 poz. a), a także
- układy niewrażliwe na efekty II rzędu (p. 5.4.3;  $\alpha_H \leq 0,1$ ).

Jeśli wg teorii I rzędu oblicza się ramy samostateczne lub stężone, które zawierają (podpierają za pomocą rygli) słupy wahadłowe (rys. 12), to w obliczeniach należy uwzględnić dodatkowe siły poziome  $H_0$  spowodowane wstępnym przechyłem słupów wahadłowych.

b) Według teorii II rzędu należy obliczać układy wielokondygnacyjne wrażliwe na efekty II rzędu ( $\alpha_H \geq 0,1$ ), przy czym jeśli wymiarowanie konstrukcji przeprowadza się na podstawie sił i momentów II rzędu z uwzględnieniem wstępnych przechyłów  $\psi_0$  wg wzoru (68), to przy sprawdzaniu stateczności słupy takich układów można traktować jak słupy układów o węzłach nieprzesuwnych ze współczynnikiem długości wyboczeniowej  $\mu \leq 1$ .

c) Siły wewnętrzne II rzędu (zwiększone w stosunku do sił I rzędu wskutek przemieszczeń poziomych układu) można wyznaczać w sposób przybliżony, przyjmując do obliczeń wg teorii I rzędu zastępcze (zwiększone) siły poziome  $H^{II}$ , wyznaczone wg zależności:

$$H^{II} = \frac{1}{1 - \alpha_H} (H_0 + H) \quad (72)$$

gdzie:

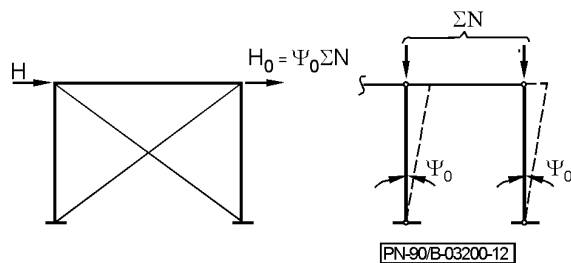
$\alpha_H$  - wskaźnik wrażliwości wg wzoru (69),

$H_0$  - jak we wzorze (71),

$H$  - siła pozioma od obciążenia zewnętrznego na poziomie rozpatrywanej kondygnacji.

#### 5.5. Stateczność położenia

a) Sprawdzenie stateczności położenia polega na wykazaniu, że konstrukcja lub jej część, traktowana jako ciało sztywne, jest zabezpieczona przed przesunięciem, uniesieniem lub wywróceniem.



Rys. 12

b) Stateczność położenia jest zachowana, jeśli spełnione są warunki:

$$\frac{F_{Rd}}{F_{Sd}} \geq 1 \text{ oraz } \frac{M_{Rd}}{M_{Sd}} \geq 1 \quad (73)$$

gdzie:

$F_{Rd}$ ,  $M_{Rd}$  - wartości obliczeniowe wypadkowej siły biernej i momentu, przeciwdziałających zmianie położenia (obrotowi):

$F_{Rd} = F_{Rk} \cdot \gamma_f$ ;  $M_{Rd} = M_{Rk} \cdot \gamma_f$  przy czym  $\gamma_f \leq 0,9$ ;

$F_{Sd}$ ,  $M_{Sd}$  - wartości obliczeniowe działań czynnych;

$F_{Sd} = F_{Sk} \cdot \gamma_f$ ;  $M_{Sd} = M_{Sk} \cdot \gamma_f$  przy czym  $\gamma_f \geq 1,1$ .

c) Jeśli warunki (73) nie są spełnione, to należy stosować specjalne zabezpieczenie w postaci stężeń (zakotwień) lub dodatkowego balastu.

## 6. POŁĄCZENIA

### 6.1. Postanowienia ogólne

- Połączenia należy projektować stosownie do warunków wytwarzania transportu, montażu i eksploatacji konstrukcji.
- Połączenia powinny mieć zapewnioną odpowiednią nośność, sztywność oraz zdolność do odkształceń plastycznych.
- Połączenia powinny być tak zaprojektowane, aby spiętrzenia naprężeń spowodowane zaburzeniami w przenoszeniu obciążeń oraz wpływem naprężeń własnych były jak najmniejsze, zwłaszcza w przypadku konstrukcji obciążonych dynamicznie i eksploatowanych w ujemnej temperaturze.
- Przy wymiarowaniu połączeń obciążonych statycznie można w uzasadnionych przypadkach pomijać wpływ drugorzędowego zginania spowodowanego mimośrodem konstrukcyjnym (np. przy wymiarowaniu połączeń spawanych prętów skratowania z pasami o przekroju klasy 1 lub 2, gdy pas jest zdolny do przeniesienia momentu węzłowego).
- Współdziałanie różnorodnych łączników w połączeniach mieszanych można uwzględniać zgodnie z zasadami podanymi w 6.2.4.1 i 6.3.3.1.
- Rodzaj, wymiary, położenie i jakość (klasa) łączników i spoin powinny być jednoznacznie określone w dokumentacji projektowej, z wyróżnieniem połączeń montażowych.
- Połączenia blach cienkich (gdy  $t < 3$  mm) należy projektować wg osobnych przepisów.

Tablica 13

|                                                  |                                                                             |  |                                 |               |   |                                                         |  |                        |                 |   |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------|---------------|---|---------------------------------------------------------|--|------------------------|-----------------|---|
| Kategoria połączenia                             | A                                                                           |  | B                               |               | C | D                                                       |  | E                      |                 | F |
| Kierunek obciążenia                              | Prostopadły od osi łączników                                                |  |                                 |               |   | Równoległy do osi łączników                             |  |                        |                 |   |
| Rodzaj połączenia                                | zakładkowe                                                                  |  |                                 |               |   | doczołowe                                               |  |                        |                 |   |
|                                                  | śrubowe: <sup>2)</sup><br>- zwykłe,<br>- pasowane,<br>nitowe,<br>sworzniowe |  | sprężane <sup>1)</sup> (cierne) |               |   | niesprężane <sup>3)</sup> lub<br>sprężane <sup>1)</sup> |  | sprężane <sup>1)</sup> |                 |   |
| Stany graniczne:<br>I-nośności<br>II-użytkowania | I                                                                           |  | I                               | II            | I | I                                                       |  | I                      | II              | I |
|                                                  | ścięcie lub docisk łączników                                                |  |                                 | poślizg styku |   | zerwanie śrub                                           |  |                        | rozwarcie styku |   |

<sup>1)</sup> Do połączeń sprężanych należy stosować śruby o wysokiej wytrzymałości, tzn. klasy: 8.8, 10.9 lub 12.9. Połączenia te powinny być sprężone siłą  $S_0 = 0,7 R_m A_s$ .

W dokumentacji projektowej należy określić warunki techniczne wykonania i odbioru połączeń sprężanych. W szczególności należy podać na rysunkach montażowych sposób realizacji wstępnego sprężenia (np. wartości momentów dokręcających), a w przypadku połączeń ciernych również sposób przygotowania powierzchni odpowiedni do zakładanego współczynnika tarcia.

<sup>2)</sup> Połączenia na śruby o wysokiej wytrzymałości można projektować jako sprężane siłą równą  $0,5 S_0 = 0,35 R_m A_s$ .

<sup>3)</sup> Do połączeń niesprężanych stosuje się śruby klas niższych niż 8.8.

Tablica 14

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

## 6.2. Połączenia na śruby, nity i sworznie

**6.2.1. Kategorie połączeń.** Rodzaj i kategorię połączenia należy ustalać wg tabl. 13. W przypadku obciążeń zmiennych co do znaku zaleca się stosować połączenia sprężane, pasowane lub nitowe, a w przypadku obciążeń dynamicznych (wielokrotnie zmiennych lub uderowych) - połączenia kategorii C i F, połączenia pasowane sprężane lub nitowe.

### 6.2.2. Wymagania konstrukcyjne

a) Sumaryczna grubość łączonych części (blach) powinna spełniać warunki:

$\Sigma t \leq 5d$  - w połączeniach nitowych i śrubowych,

$\Sigma t \leq 8d$  - w połączeniach śrubowych sprężonych, gdzie  $d$  - średnica łącznika.

b) Średnice otworów na śruby należy przyjmować wg tabl. 14. Średnice otworów na nity i sworznie zaleca się przyjmować o 1 mm większą niż średnica trzpienia.

c) W połączeniach zakładkowych łączniki należy rozmieszczać w układzie prostokątnym (rys. 13a) lub przestawionym (rys. 13b), zgodnie z wymaganiami podanymi w tabl. 15.

d) W połączeniach doczołowych odległość śrub od swobodnej krawędzi 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.

**Tablica 15**

| Odległość, rozstaw                                        | Oznaczenie<br>wg rys. 13 | Graniczne odległości <sup>1)</sup> w połączeniach śrubowych i nitowych |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           |                          | min                                                                    | max                                                                                |
| Odległość od czoła blachy (ścianki) w kierunku obciążenia | $a_1^{2)}$               | 1,5 <i>d</i>                                                           | min $\begin{cases} 12t \\ 150 \text{ mm} \\ (4t + 40 \text{ mm})^{3)} \end{cases}$ |
| Odległość od krawędzi bocznej blachy ( $a_2 \perp a_1$ )  | $a_2$                    |                                                                        |                                                                                    |
| Rozstaw szeregów                                          | $a_3$                    | 2,5 <i>d</i>                                                           | min (14 <i>t</i> , 200 mm)                                                         |
| Rozstaw łączników w szeregu                               | $a^{2)}$                 |                                                                        | $2a_{3\text{max}} - a_3^{4)}$                                                      |

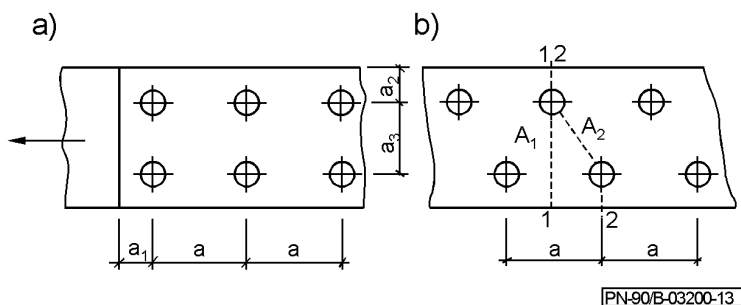
<sup>1)</sup> *d* - średnica łącznika, *t* - grubość blachy (ścianki).

<sup>2)</sup> Odległość *a*<sub>1</sub> i *a* należy dobierać z uwzględnieniem nośności łącznika na docisk S<sub>Rb</sub> wg tabl. 16.

<sup>3)</sup> Dotyczy konstrukcji nie osłoniętych.

<sup>4)</sup> W elementach rozciąganych można dopuścić w szeregach wewnętrznych 2*a*<sub>max</sub> lub we wszystkich szeregach 1,5*a*<sub>max</sub>.





Rys. 13

### 6.2.3. Nośność obliczeniowa łączników

#### 6.2.3.1. Śruby

- a) Klasę właściwości mechanicznych śrub (wartości  $R_m$  i  $R_e$ ) należy dobierać wg PN-82/M-82054/03, stosownie do kategorii połączenia, przy czym wytrzymałość  $R_m$  śrub powinna być nie mniejsza niż  $R_e$  stali łączonych części. Dla śrub wytwarzanych metodą obróbki wórowej na zimno właściwości mechaniczne przyjmuje się jak dla materiału wsadowego.
- b) Nośność obliczeniową śrub w połączeniu należy obliczać wg wzorów podanych w tabl. 16, w zależności od kategorii połączenia i miarodajnego stanu granicznego (tabl. 13). Wartości  $S_{Rt}$  i  $S_{Rv}$  dla śrub M10 ÷ M30 podano w tabl. Z2-2.
- c) Przy jednoczesnym obciążeniu śruby siłami rozciągającą  $S_t$  i poprzeczną  $S_v$  należy spełnić warunek

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

#### 6.2.3.2. Nity

- a) Nośność obliczeniową na ścinanie i docisk można obliczać jak w przypadku śrub (wg wzorów w tabl. 16) lub wyznaczać eksperymentalnie, przyjmując do obliczeń 80% nośności charakterystycznej.
- b) Nośność obliczeniowa nity na rozciąganie jest określona wzorem

$$S_{Rt} = 0,3R_m A \quad (75)$$

przy czym stosowanie połączeń, w których nity są wyłącznie rozciągane jest niewskazane.

- c) W przypadku obciążenia złożonego obowiązuje warunek (74)

Tablica 16

| Stan graniczny                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Nośność obliczeniowa śruby w połączeniu                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zerwanie trzpienia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $S_{Rt} = \min \begin{cases} 0,65 R_m A_S^{1)} \\ 0,85 R_e A_S^{1)} \end{cases}$                                                                         |
| Rozwarcie styku sprężonego                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $S_{Rr} = 0,85 S_{Rt}$ - przy obciążeniu statycznym<br>$S_{Rr, dyn} = 0,6 S_{Rt}$ - przy obciążeniu dynamicznym                                          |
| Ścinanie trzpienia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $S_{Rv} = 0,45 R_m A_v \cdot m^2)$<br>(m - liczba płaszczyzn ścinania)                                                                                   |
| Uplastycznienie wskutek docisku trzpienia do ścianki otworu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $S_{Rb} = \alpha f_d \sigma \Sigma t^{\beta})$<br>przy czym<br>$\alpha = \frac{a_1}{d} \leq 2,5$<br>lub<br>$\alpha = \frac{a}{d} - \frac{3}{4} \leq 2,5$ |
| Poślizg styku sprężonego                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $S_{Rs} = \alpha_s \mu (S_{Rt} - S_t) \cdot m^4)$<br>(m - liczba płaszczyzn tarcia)                                                                      |
| <sup>1)</sup> $A_S$ - pole przekroju czynnego rdzenia śruby wg PN-82/M-82054/03<br><sup>2)</sup> Przy ścinaniu części niegwintowanej: $A_v = A = \pi d^2/4$ ,<br>Przy ścinaniu części gwintowanej: $A_v = 0,8 A_S$ dla śrub klasy 10,9,<br>$A_v = A_S$ - dla śrub innych klas.<br><sup>3)</sup> Gdzie: $f_d$ - dla materiału części łączonych; $\Sigma t$ - sumaryczna grubość części podlegających dociskowi w tym samym kierunku; $d$ - średnica śruby; $a_1, a$ - wg rys. 13.<br>Przy docisku do części gwintowanej należy zamiast $d$ przyjmować $0,7d$ .<br>Dla połączeń sprężonych można przyjmować $\alpha \leq 3$ .<br><sup>4)</sup> Gdzie:<br>$\alpha_s = 0,7$ - przy otworach owalnych długich równoległych do kierunku obciążenia,<br>$\alpha_s = 0,85$ - przy otworach okrągłych powiększonych lub owalnych krótkich,<br>$\alpha_s = 1$ - przy otworach okrągłych pasowanych lub średniokokładnych,<br>$\mu$ - współczynnik tarcia, który można przyjmować z tabl. Z2-1 lub wyznaczać eksperymentalnie;<br>$S_t$ - ewentualna siła rozciągająca śrubę w połączeniu. |                                                                                                                                                          |

#### 6.2.3.3. Sworznie. Nośność obliczeniową sworznia oblicza się następująco:

- na ścinanie (z uwzględnieniem zginania trzpienia):

$$S_{Rv} = \min \begin{cases} 0,4 R_m A \\ 0,6 R_e A \end{cases} \cdot \alpha_v \cdot m \quad (76)$$

gdzie:

$\alpha_v = 0,5d/t_{\max} \leq 1$ ;  $d$  - średnica sworznia,  
 $t_{\max}$  - grubość najgrubszej z łączonych części,  
 $m$  - liczba płaszczyzn ścinania ( $m = 2$  lub  $4$ );

- na docisk:  $S_{Rb}$  - jak dla śrub, przy czym  $\alpha \leq 1,4$ .

Sworznie stosuje się wyłącznie w połączeniach zakładkowych obciążonych osiowo.

#### 6.2.4. Obliczanie i wymiarowanie połączeń

##### 6.2.4.1. Zasady ogólne

a) W przypadku połączeń zakładkowych przyjmuje się, że:

- obciążenie osiowe rozdziela się na poszczególne łączniki proporcjonalnie do ich nośności,
- obciążenie momentem w płaszczyźnie połączenia rozdziela się na poszczególne łączniki w postaci sił prostopadłych do ramion obrotu i proporcjonalnych do odległości łączników od środka obrotu, który można utożsamiać ze środkiem ciężkości grupy łączników przenoszących obciążenie momentem.

b) Przy zginaniu połączeń doczołowych położenie osi obrotu w stanach granicznych nośności i użytkowania wyznacza oś pasa ściskanego lub oś ukośnej blachy usztywniającej (rys. 16).

Warunki równowagi i siły w poszczególnych śrubach należy ustalać z uwzględnieniem współczynników rozdziału obciążenia  $\omega_i$  (tabl. 17).

c) Współdziałanie łączników (w tym spoin) wg zasad podanych w poz. a) można uwzględniać w następujących przypadkach połączeń mieszanych:

- w połączeniach zakładkowych na śruby pasowane i nity, przy wzmacnianiu i odnowie istniejących połączeń;
- w połączeniach kategorii C wzmocnionych spoinami poprzecznymi lub podłużnymi, pod warunkiem ich wykonania przed pełnym sprężaniem, lecz po wstępnym dokręceniu (napięciu) śrub do wartości 50% wymaganej siły sprężającej; przyjmuje się przy tym, że spoiny podłużne mogą przenosić nie więcej niż 40% całkowitego obciążenia;
- w stykach montażowych belek dwuteowych o wysokim środniku, w których pasy połączono spoinami, a środnik - nakładkami na zasadzie połączenia ciernego kategorii C, sprężonego po uprzednim zespawaniu pasów.

#### 6.2.4.2. Połączenia zakładkowe

a) Nośność połączeń zakładkowych, a także zdolność użytkową ( $\gamma_f = 1$ ) połączeń kategorii B, należy sprawdzać wg wzorów:

- przy obciążeniu osiowym (rys. 14a)

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

gdzie:

$n$  - liczba łączników przenoszących obciążenie  $F$ ;

$\eta$  - współczynnik redukcyjny (gdy odległość  $l$  między skrajnymi łącznikami w kierunku obciążenia jest większa niż  $15d$ ):

$$\eta = 1 - \frac{l - 15d}{200d} \quad (78)$$

przy czym  $0,75 \leq \eta \leq 1$

$S_R$  - miarodajna nośność obliczeniowa łącznika (śruby lub nity).

- przy obciążeniu siłą  $F$  i momentem  $M_0$  (rys. 14b, c, d)

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

gdzie:

$S_i$  - siła wypadkowa przypadająca na  $i$ -ty łącznik tj. suma wektorowa sił składowych:

$$S_{i,F} = F / n \quad \text{oraz} \quad S_{i,M} = M_0 r_i / \sum_{i=1}^n r_i^2$$

$n$  - liczba łączników przenoszących obciążenie  $F$  i  $M_0$ ,

$r_i$  - ramię działania siły  $S_{i,M}$ ,

$\theta_i$  - kąt między wektorami sił składowych ( $0 \leq \theta_i \leq 180^\circ$ ),

$S_R$  - jak we wzorze (77).

b) Dodatkowe sprawdzenie nośności elementu ze względu na osłabienie przekroju otworami należy przeprowadzać zgodnie z zasadami podanymi w 4.1.2, przy czym w przypadku połączeń ciernych kategorii C rozciąganych siłą  $F$ , do obliczeń przyjmuje się obciążenie zredukowane

$$F_a = F \left( 1 - \frac{n_b}{n} - 0,4 \frac{n_a}{n} \right) \quad (80)$$

gdzie:

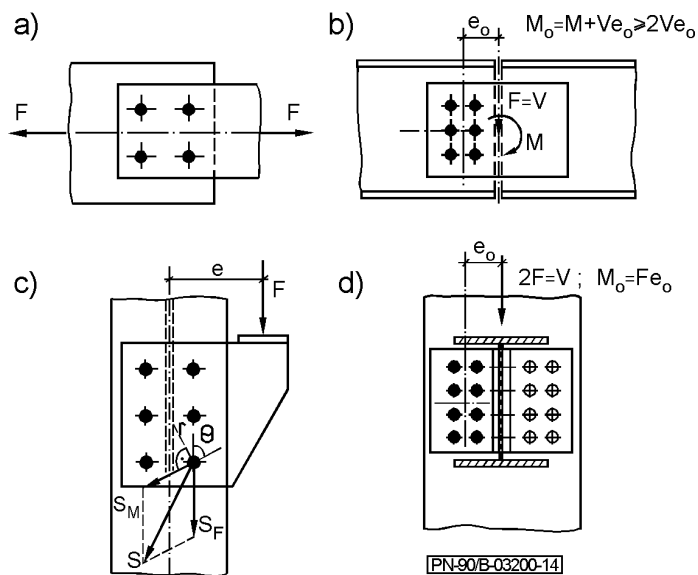
- $n$  - liczba śrub przenoszących obciążenie  $F$ ,  
 $n_a$  - liczba śrub w sprawdzanym przekroju,  
 $n_b$  - liczba śrub znajdujących się przed sprawdzanym przekrojem w kierunku obciążenia.  
 c) W przypadku połączeń obciążonych siłą poprzeczną (rys. 15) powinien być spełniony warunek

$$F \leq F_{Rj} = f_d \left( 0,6 A_{nv} + \frac{n_v}{n} A_{nt} \right) \quad (81)$$

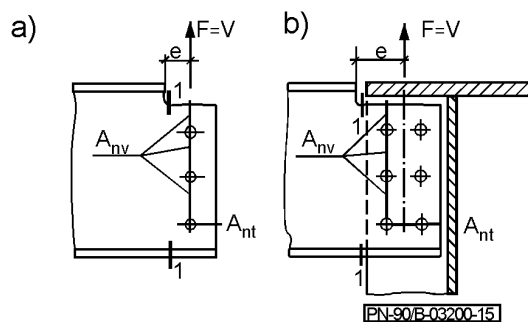
gdzie:

- $n$  - liczba śrub w połączeniu,  
 $n_v$  - liczba śrub w ścinanej części przekroju netto,  
 $A_{nv}$ ,  $A_{nt}$  - pole ścinanej i rozciąganej części przekroju netto.

Ponadto należy sprawdzić nośność przekroju 1-1 na ścinanie ze zginaniem ( $M_1 = V \cdot e$ ).



Rys. 14



Rys. 15

#### 6.2.4.3. Połączenia doczołowe

- a) Grubość blachy czołowej przyjmuje się następująco:  
 - w połączeniach niesprężanych

$$t \geq t_{\min} = 1,2 \sqrt{\frac{c S_{Rt}}{b_s f_d}} \quad (82)$$

gdzie:

$S_{Rt}$  - nośność obliczeniowa śruby osadzonej w blasze, przy czym jeśli nie jest ona całkowicie wykorzystana, to można zamiast  $S_{Rt}$  przyjmować wartość siły  $S_t$  w śrubie najbardziej obciążonej,

$f_d$  - dla blachy czołowej,

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

$b_s$  - szerokość współdziałania blachy przypadająca na jedną śrubę, którą przyjmuje się z zachowaniem warunku

$b_s \leq 2(c + d)$ ;

- w połączeniach sprężanych obciążonych statycznie

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

gdzie  $d$ ,  $R_m$  - średnica i wytrzymałość śruby, przy czym, jeśli zachodzi przypadek określony w poz. d), to należy dodatkowo sprawdzić warunek (82).

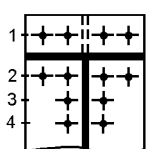
b) W przypadku połączeń sprężanych i obciążeń wielokrotnie zmiennych zaleca się stosować blachę o grubości odpowiednio zwiększonej tj:

$t \geq 1,62 \cdot t_{\min}$ , przy czym  $t_{\min}$  wg wzoru (82)

$t \geq 1,25 \cdot t_{\min}$ , przy czym  $t_{\min}$  wg wzoru (83)

Jeśli miarodajny z powyższych warunków nie jest spełniony, to należy sprawdzać nośność zmęczeniową połączenia (jak w przypadku połączeń niesprężanych) lub przyjmować jego nośność obliczeniową równą 50% nośności statycznej.

**Tablica 17**

| Średnica śrub                                                                                                                                            |                 | M20, M24                                                                                                  |              | M20                               |              | M24 |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|-----|--------------|
| Liczba śrub $m_i$ w $i$ -tym szeregu                                                                                                                     | $m_1$           | 2                                                                                                         | -            | 4                                 | -            | 4   | -            |
|                                                                                                                                                          | $m_2$           | 2                                                                                                         | 2            | 4                                 | 4            | 4   | 4            |
|                                                                                                                                                          | $m_3$           | 2                                                                                                         | 2            | 2                                 | 2            | 2   | 2            |
|                                                                                                                                                          | $m_4$           | -                                                                                                         | 2            | -                                 | 2            | -   | 2            |
| Schemat rozmieszczenia śrub                                                                                                                              | Nr szeregu $i$  | Współczynniki rozdziału obciążenia w połączeniach zginanych $\omega_{ti}$ ( $\omega_{ri}$ ) <sup>1)</sup> |              |                                   |              |     |              |
|                                                                       | 1               | 0,8 <sup>2)</sup> 4)<br>(0,7)                                                                             | -            | 0,7 <sup>2)</sup>                 | -            | 0,7 | -            |
|                                                                                                                                                          | 2               | 1                                                                                                         | 1(0,9)       | 0,9                               | 0,9          | 0,8 | 0,8          |
|                                                                                                                                                          | 3               | 0,8                                                                                                       | 0,8<br>(0,6) | 0,8<br>(0,8)                      | 0,8<br>(0,6) | 0,8 | 0,8<br>(0,6) |
|                                                                                                                                                          | 4 <sup>3)</sup> | -                                                                                                         | 0,6          | -                                 | 0,6          | -   | 0,6          |
| 1) Jeśli nie podano wartości w nawiasach, to należy przyjmować:                                                                                          |                 | $\omega_{ri} = \omega_{ti}$                                                                               |              | $\omega_{ri} = \omega_{ti} - 0,1$ |              |     |              |
| 2) W przypadku usztywnienia blachy zębem można przyjmować wartości większe o 0,1.                                                                        |                 |                                                                                                           |              |                                   |              |     |              |
| 3) Gdy w połączeniu występuje zewnętrzny szereg śrub nr 1, a nie stosuje się dodatkowych zębów, to śrub w szeregu nr 4 nie uwzględnia się przy zginaniu. |                 |                                                                                                           |              |                                   |              |     |              |
| 4) Jeśli występuje tylko zewnętrzny szereg śrub, to przy braku zęba należy przyjmować $\omega = 1/\beta$ .                                               |                 |                                                                                                           |              |                                   |              |     |              |

c) Połączenia spawane części elementów (pasów, środników zębów) należy wymiarować na pełną nośność przekroju stykowego, przy czym spoiny pachwinowe powinny być układane na całym jego obwodzie.

d) Wpływ tzw. efektu dźwigni na redukcję obciążenia granicznego uwzględnia się w przypadku połączeń, w których blacha czołowa (lub jej segment) jest usztywniona wzdłuż jednej tylko krawędzi. Współczynnik efektu dźwigni jest określony wzorem

$$\beta = 2,67 - \frac{t}{t_{\min}} \geq 1 \quad (84)$$

gdzie  $t_{\min}$  - wg wzoru (82)

e) Nośność połączeń rozciąganych, a także zdolność użytkową ( $\gamma_t = 1$ ) połączeń kategorii E, należy sprawdzać wg wzoru

$$N \leq N_{Rj} \quad (85)$$

gdzie  $N_{Rj}$  - nośność obliczeniowa połączenia, określona wzorami:

- dla połączeń prostych ( $\omega = 1$ )

$$N_{Rj} = \frac{1}{\beta} n \cdot S_R \quad (86)$$

przy czym, gdy nie zachodzi przypadek określony w poz. d), to przyjmuje się  $\beta = 1$ ;

- dla połączeń złożonych ( $\omega \leq 1$ )

$$N_{Rj} = S_R \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (87)$$

przy czym, gdy zachodzi przypadek określony w poz. d), to przyjmuje się  $\omega_i \leq 1/\beta$ ;

w powyższych wzorach:

$\beta$  - wg wzoru (84),

$n$  - liczba śrub w połączeniu,

$S_R$  - nośność obliczeniowa śruby ( $S_R = S_{Rt}$  lub  $S_{Rr}$  - wg tabl. 16),

$\omega_i$  - współczynniki rozdziału obciążenia ( $\omega_i = \omega_{ti}$  lub  $\omega_{ri}$ ), które można przyjmować wg rys. 17.

f) Nośność połączeń zginanych, a także zdolność użytkową ( $\gamma_t = 1$ ) połączeń kategorii E, należy sprawdzić wg wzoru

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

gdzie  $M_{Rj}$  - nośność obliczeniowa połączenia, określona wzorami:

- ze względu na zerwanie śrub (rys. 16c)

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

- ze względu na rozwarcie styku (rys. 16a)

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

lub

- gdy zachodzi przypadek określony w poz. d) (rys. 16b)

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

gdzie:

$p = 1$  (gdy występuje zewnętrzny szereg śrub) lub 2,

$k$  - liczba szeregów śrub, przy czym do obliczeń przyjmuje się  $k \leq 3$ ,

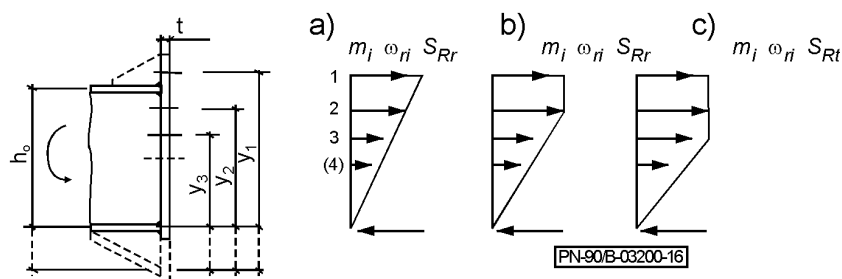
$S_{Rt}$ ,  $S_{Rr}$  - nośność obliczeniowa śrub wg tabl. 16,

$m_i$  - liczba śrub w  $i$ -tym szeregu,

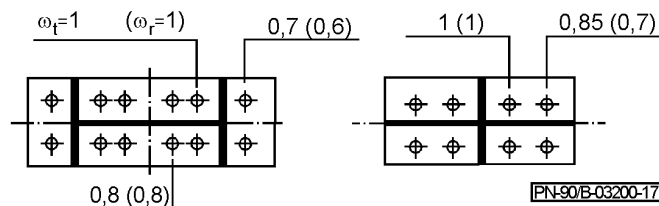
$\omega_{ti}$ ,  $\omega_{ri}$  - uśrednione dla  $i$ -tego szeregu współczynniki rozdziału obciążenia, które można przyjmować wg tabl. 17,

$y_i$  - ramię działania sił w śrubach  $i$ -tego szeregu względem potencjalnej osi obrotu, przy czym w obliczeniach należy uwzględnić te śruby, dla których spełniony jest warunek  $y_i \geq 0,6h_0$  (rys. 16); w przypadku elementów dwuteowych o wysokości większej niż 400 mm lub smukłości środka  $\left( \frac{h_w}{t_w} \right)$  większej niż  $140 \sqrt{215 / f_d}$  należy w stanie

granicznym rozwarcia zamiast  $y_i$  przyjmować  $y_{ired} = y_i - h/6$ .



Rys. 16



Rys. 17

g) Projektując połączenia zginane należy uwzględnić w obliczeniach ewentualną siłę poprzeczną. W przypadku połączeń kategorii F siła poprzeczna powinna być przeniesiona przez docisk blachy czołowej lub przez tarcie.

h) Nośność połączeń elementów dwuteowych w złożonym stanie obciążenia ( $M$ ,  $N$ ,  $V$ ) można sprawdzać w sposób uproszczony, przy założeniu, że moment zginający i siła podłużna są przenoszone wyłącznie przez pasy i spełniając warunek (85) dla wypadkowej siły podłużnej w pasie rozciągany i śrub znajdujących się w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Jeśli w połączeniu tylko jeden pas jest rozciągany, to można przyjmować współczynniki  $\omega$ , jak dla połączeń wyłącznie zginanych - wg tabl. 17.

### 6.3. Połączenia spawane

**6.3.1. Ogólne wymagania i zalecenia.** Projektując połączenia spawane należy brać pod uwagę ogólne zasady i postanowienia podane w 2.1, 2.5 oraz 6.1, a ponadto poniższe zalecenia, w myśl których należy:

a) ograniczać do niezbędnego minimum liczbę połączeń montażowych;

b) zapewnić odpowiedni dostęp, niezbędny do wykonania spoiny, uwzględniając, że pochylenie elektrody w stosunku do osi spoiny wynosi  $30^\circ \div 60^\circ$ ;

- c) unikać skupienia (krzyżowania się) spoin;
- d) unikać stosowania spoin w wewnętrznych narożach kształowników walcowanych, zwłaszcza w przypadku stali nieuspokojonej;
- e) unikać stosowania spoin w strefie zgniotu, przy czym w przypadku kształowników profilowanych na zimno dopuszcza się spawanie w strefie zgniotu (obejmującej zaokrąglone naroże wraz z przyległymi odcinkami płaskimi o szerokości 5 $\phi$ ), jeśli spełniony jest warunek

$$\frac{r}{t} \geq \sqrt{\frac{tR_e}{600}}$$

gdzie:

$r$  - wewnętrzny promień gięcia, mm,

$t$  - grubość blachy, mm,

$R_e$  - granica plastyczności materiału wsadowego, MPa;

- f) wszystkie niezbędne informacje (oznaczenia normowe), w tym specjalne wymagania dotyczące wykonawstwa i kontroli spoin, powinny być podane w dokumentacji rysunkowej.

### 6.3.2. Wymiary obliczeniowe i wymagania konstrukcyjne

#### 6.3.2.1. Spoiny czołowe

- a) Grubość obliczeniową  $a$  przyjmuje się równą grubości cieńszej z łączonych części, a w przypadku niepełnych spoin czołowych - głębokości rowka do spawania zmniejszonej o 2 mm.

Jeśli w połączeniu teowym ze spoinami czołowo-pachwinowymi (rys. 19c) spełnione są warunki:

$$c \leq 3 \text{ mm}, \quad c \leq 0,2t \quad \text{oraz} \quad \sum a_i \geq t$$

to tak ukształtowane połączenie można traktować jak połączenie na spoinę czołową o grubości  $a = t$ . W przeciwnym razie obowiązują zasady jak dla spoin pachwinowych.

- b) Długość obliczeniową  $l$  spoin czołowych (podawaną na rysunkach) przyjmuje się równą długości spoiny bez kraterów.

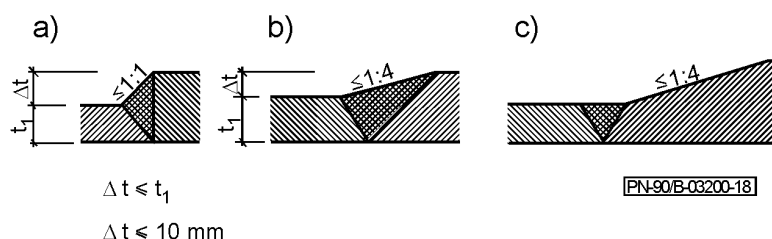
- c) Styki poszczególnych części przekroju (pasów, środków) należy projektować w płaszczyznach prostopadłych do osi łączonych elementów.

W połączeniu dwuteownika spawanego (rys. 23) styk pasa rozciąganego przy obciążeniach dynamicznych powinien być przesunięty względem styku środka.

- d) Przy łączeniu blach (ścianek) o różnych grubościach, należy zapewnić ciągłą zmianę przekroju, stosując pochylenie nie większe niż:

1 : 1 - przy obciążeniach statycznych,

1 : 4 - przy obciążeniach dynamicznych.



Rys. 18

Gdy przesunięcie krawędzi czołowych jest nie większe niż grubość cieńszej blachy i nie przekracza 10 mm, to wymagane pochylenie można uzyskać przez odpowiednie ukształtowanie spoiny (rys. 18 a) i b). W przeciwnym razie blachę grubszą należy zukosować do grubości blachy cieńszej (rys. 18c).

- e) Typ spoiny i związane z nim przygotowanie brzegów (wg PN-75/M-69014 i PN-73/M-69015) powinny być dostosowane do grubości materiału, gatunku stali i metody spawania.

#### 6.3.2.2. Spoiny pachwinowe

- a) Grubość obliczeniową  $a$  przyjmuje się równą wyprowadzonej z grani spoiny wysokości trójkąta wpisanego w przekrój spoiny (rys. 19).



Do obliczeń należy przyjmować nominalną grubość spoiny  $a = a_{nom}$ , podawaną w całkowitych mm; wyjątkowo stosuje się spoiny o grubości 2,5 i 3,5 mm.

W przypadku spoin wykonywanych automatycznie łukiem krytym lub metodami równorzędnymi pod względem głębokości wtopienia, można przyjmować zwiększoną grubość obliczeniową (rys. 19b):

$$a = 1,3a_{nom} \text{ - dla spoin jednowarstwowych,}$$

$$a = 1,2a_{nom} \leq a_{nom} + 2 \text{ mm - dla spoin wielowarstwowych.}$$

Jeśli szczegółowe przepisy nie stanowią inaczej, ani też nie stosuje się specjalnych zabiegów technologicznych, to zaleca się tak dobierać grubość spoiny, aby spełnione były warunki:

$$\left. \begin{array}{l} 0,2t_2, \text{ lecz } \leq 10 \text{ mm} \\ 2,5 \text{ mm} \end{array} \right\} \leq a_{nom} \leq \left\{ \begin{array}{l} 0,7t_1 \\ 16 \text{ mm} \end{array} \right.$$

gdzie  $t_1$ ,  $t_2$  - grubość cieńszej i grubszej części w połączeniu, przy czym należy unikać stosowania spoin o grubości większej niż to wynika z obliczeń.

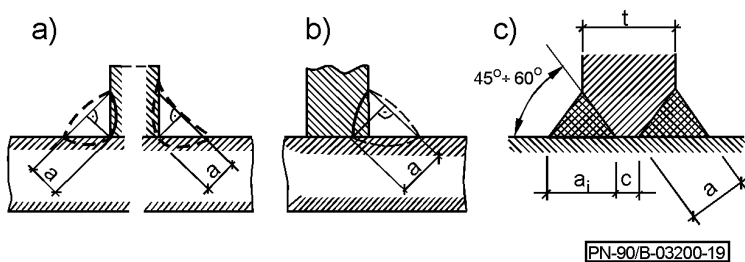
W przypadku spoin obwodowych w połączeniach rur (rys. 27) można przyjmować  $a_{nom} \leq t_1$ .

b) Długość obliczeniową spoin przyjmuje się równą sumarycznej długości spoin  $\Sigma l_i$ , przy czym w przypadku spoin nieciągłych (przerywanych) można uwzględnić w obliczeniach wyłącznie te odcinki spoin, które spełniają warunki:

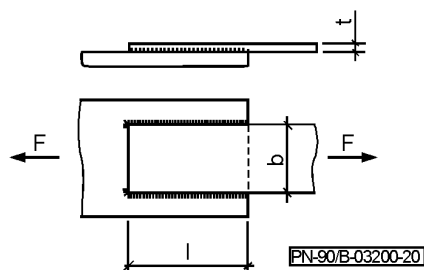
$$10a \leq l_i \leq 100a \text{ oraz } l_i \geq 40 \text{ mm.}$$

W przypadku obciążeń dynamicznych nie należy uwzględniać w obliczeniach spoin poprzecznych względem kierunku obciążenia.

c) W połączeniach zakładkowych (rys. 20) można stosować wyłącznie spoiny podłużne pod warunkiem, że długość każdej z nich jest nie mniejsza niż odstęp między nimi ( $l_i \geq b$ ), a odstęp nie przekracza trzydziestokrotnej grubości cieńszego elementu ( $b \leq 30t$ ). W przeciwnym razie należy stosować dodatkowe spoiny poprzeczne lub spoiny w otworach wg poz. e).

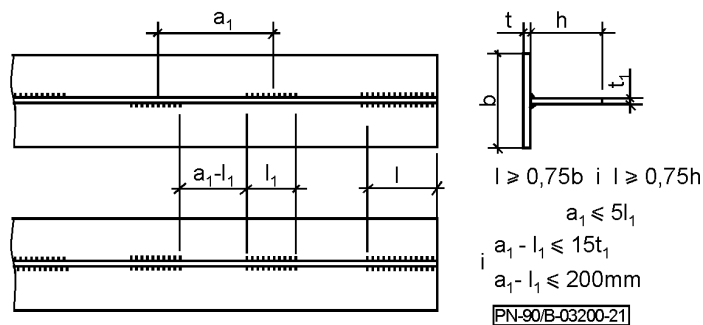


Rys. 19



Rys. 20

d) Spoiny pachwinowe przerywane należy wymiarować zgodnie z warunkami podanymi na rys. 21. Spoin przerywanych nie należy stosować:



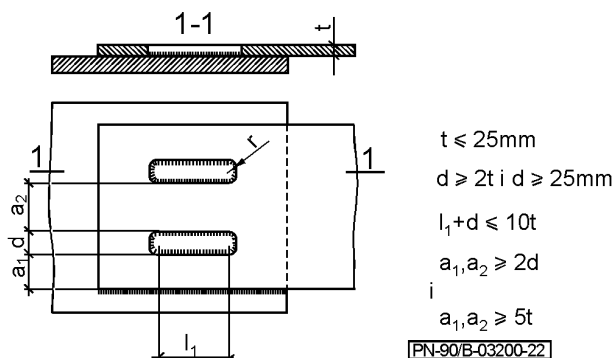
Rys. 21

- w przypadku obciążeń dynamicznych,
- w elementach bezpośrednio narażonych na korozję atmosferyczną lub chemiczną, a także eksploatowanych w warunkach podwyższonej wilgotności,
- w strefach skokowej zmiany sztywności, a także w przypadku jednoczesnego występowania znacznych naprężeń normalnych i stycznych.

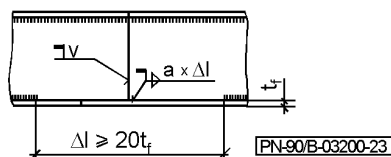
e) Spoiny pachwinowe w otworach należy wymiarować zgodnie z warunkami podanymi na rys. 22. Długość obliczeniową spoiny w otworze owalnym przyjmuje się  $\Sigma l = 2l_1 + \pi(d - a)$ .

Stosowanie spoin w otworach w połączeniach nośnych konstrukcji obciążonych dynamicznie jest niewskazane.

f) W połączeniu montażowym, jak na rys. 23, spoina podłużna na odcinku  $\Delta l \geq 20t$  powinna być układana po uprzednim wykonaniu połączeń pasów i środnika.



Rys. 22



Rys. 23

### 6.3.3. Obliczanie i wymiarowanie połączeń

#### 6.3.3.1. Zasady ogólne - współczynniki wytrzymałości spoin

- Do obliczeń połączeń spawanych należy przyjmować odpowiednie współczynniki wytrzymałości spoin  $\alpha$  - wg tabl. 18 oraz wytrzymałość obliczeniową stali  $f_d$ , przy czym w przypadku łączenia części ze stali różnych gatunków, należy przyjmować  $f_d$  o wartości mniejszej.
- Gdy w połączeniu występują spoiny czołowe i pachwinowe, to w przypadku obciążeń dynamicznych nie należy uwzględniać w obliczeniach spoin pachwinowych, natomiast w przypadku obciążeń statycznych nośność połączenia można ustalać jako sumę nośności spoin czołowych i 50% nośności spoin pachwinowych.
- Współdziałanie spoin ze śrubami w połączeniach ciernych można uwzględniać wg 6.2.4.1c).

Tablica 18

| Rodzaj spoin      | Stan naprężeń w rozpatrywanej części lub wytrzymałość stali $R_e$ , MPa | Współczynniki wytrzymałości spoin <sup>1)</sup> |                        |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
|                   |                                                                         | $\alpha_{\perp}$                                | $\alpha_{\parallel}$   |
| Spoiny czołowe    | ściskanie lub zginanie                                                  | 1                                               | 0,6<br>(przy ścinaniu) |
|                   | rozciąganie równomierne ( $\nu = 1$ ) lub mimośrodowe ( $\nu < 1$ )     | $1 - 0,15\nu^2$                                 |                        |
| Spoiny pachwinowe | $R_e \leq 255$                                                          | 0,9                                             | 0,8                    |
|                   | $255 < R_e \leq 355$                                                    | 0,8                                             | 0,7                    |
|                   | $355 < R_e \leq 460$                                                    | 0,7                                             | 0,6                    |

<sup>1)</sup> Podane wartości współczynników należy zmniejszyć:

a) o 10% - w przypadku spoin montażowych (wykonywanych na budowie),

b) o 20% - w przypadku spoin pułapowych,

c) o 30% - gdy zachodzą jednocześnie przypadki a) i b).

<sup>2)</sup> Podana zależność dotyczy spoin normalnej jakości, kontrolowanych zgrubnie;  $\nu$  - stosunek naprężeń średnich do maksymalnych.

W przypadku zapewnienia kontroli defektoskopowej można przyjmować  $\alpha_{\perp} = 1$ , przy czym klasa wadliwości złącza wg PN-87/M-69772 powinna być najwyżej R4 - przy grubości łączonych części do 20 mm, R3 - przy grubości większej niż 20 mm, R2 - przy obciążeniach dynamicznych.

### 6.3.3.2. Połączenia na spoiny czołowe

a) Jeśli pole przekroju obliczeniowego spoin jest nie mniejsze niż pole przekroju łączonych elementów i jeśli ponadto  $\alpha_{\perp} = 1$ , to odrębne sprawdzenie nośności połączenia jest zbędne.

b) Jeśli nie są spełnione warunki podane w poz. a), to nośność połączeń należy sprawdzać wg wzoru

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\alpha_{\parallel}}\right)^2} \leq f_d \quad (92)$$

w którym:

$\sigma, \tau$  - naprężenia w przekroju obliczeniowym połączenia, (w stanie sprężystym);

$\alpha_{\perp}, \alpha_{\parallel}$  - odpowiednie współczynniki wytrzymałości spoiny wg tabl. 18.

c) W wyjątkowych przypadkach połączeń rozciąganych na pojedynczą niepełną spoinę czołową, należy uwzględnić w obliczeniach dodatkowe zginanie spowodowane mimośrodem siły względem osi przekroju obliczeniowego spoiny.

### 6.3.3.3. Połączenia na spoiny pachwinowe

a) Warunek wytrzymałości dla spoin pachwinowych w złożonym stanie naprężenia (rys. 24) jest określony następująco:

$$\kappa \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq f_d \quad (93)$$

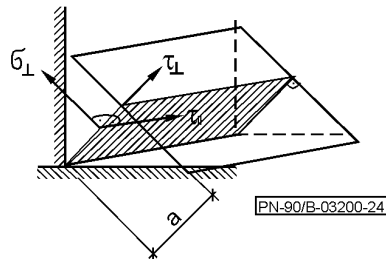
przy czym  $\sigma_{\perp} \leq f_d$

gdzie:

„ = 0,7 dla stali  $R_e \leq 255$  MPa,

„ = 0,85 dla stali  $255 < R_e \leq 355$  MPa,

„ = 1 dla stali  $355 < R_e \leq 460$  MPa.



Rys. 24

- b) Nośność połączeń zakładkowych można sprawdzać wg wzorów:  
- przy obciążeniu osiowym

$$\tau_F = F / \sum a l \leq \alpha_{\parallel} f_d \quad (94)$$

- przy obciążeniu siłą  $F$  i momentem  $M_0$  (rys. 26)

$$\tau = \sqrt{(\tau_M + \tau_F \cos \theta)^2 + (\tau_F \sin \theta)^2} \leq \alpha_{\perp} f_d \quad (95)$$

gdzie  $\tau$  = naprężenie wypadkowe, przy czym:

$\tau_F$  - wg wzoru (94) oraz  $\tau_M = M_0 / l_0$ ;

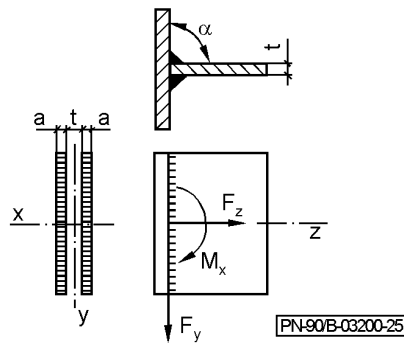
$r$  - odległość rozpatrywanego punktu od środka ciężkości spoin,

$l_0$  - biegunowy (względem środka ciężkości spoin) moment bezwładności figury utworzonej przez kład przekroju obliczeniowego na płaszczyznę styku;  $l_0 = l_x + l_y$ ,

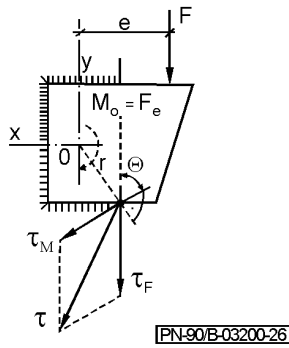
$\theta$  - kąt między wektorami naprężeń  $\tau_M$  i  $\tau_F$  w rozpatrywanym punkcie spoiny ( $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ ).

- c) Nośność połączeń teowych (rys. 25) można sprawdzać wg wzoru (92), obliczając naprężenia  $\sigma$  i  $\tau$  w przekroju utworzonym przez kład przekroju obliczeniowego spoin na płaszczyznę styku i przyjmując właściwe dla spoin pachwinowych współczynniki  $\alpha_{\perp}$  i  $\alpha_{\parallel}$ .

Jeśli kąt między łączonymi częściami jest  $45^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ , to nośność połączenia należy sprawdzać wg wzoru (93).



Rys. 25



Rys. 26

d) Nośność połączenia pasa ze środnikiem ze względu na siłę rozwarstwiającą można sprawdzać wg wzorów:  
- dla spoin ciągłych

$$\tau_{\parallel} = \frac{V \cdot S}{I_x \sum a} \leq \alpha_{\parallel} f_d \quad (96)$$

- dla spoin przerywanych (rys. 21)

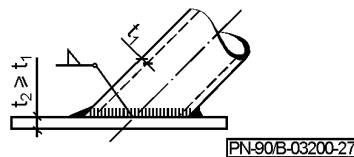
$$\tau_{\parallel} = \frac{V \cdot S}{I_x \sum a} \cdot \frac{a_1}{l_1} \leq \alpha_{\parallel} f_d \quad (97)$$

gdzie:

$V$  - siła poprzeczna w rozpatrywanym przekroju,  
 $S$  - moment statyczny przekroju pasa względem osi obojętnej,  
 $I_x$  - moment bezwładności całego przekroju elementu.

Dla spoin w strefie działania znacznych obciążeń skupionych (rys. 1 i 2) rozciągających, a także ściskających, gdy nie jest zapewniony docisk łączonych części, powinien być spełniony warunek (93), przy czym dla spoin o przekroju równoramiennego trójkąta prostokątnego przyjmuje się:  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$ , gdzie  $\sigma = \sigma_p = P / (c_0 \sum a)$ .

e) Nośność połączeń prętów skratowania, łączonych bezpośrednio bez blach węzłowych, za pomocą spoiny obwodowej (rys. 27) można sprawdzać wg wzoru (92). W przypadku połączeń podatnych, w szczególności połączeń rur cienkościennych sprawdzenie nośności spoiny jest niewystarczające.



Rys. 27

## 6.4. Połączenia bezzebbrowe

### 6.4.1. Zasady ogólne

a) Nośność środników elementów walcowanych pod obciążeniem skupionym  $P$  w połączeniach bezzebbrowych (rys. 28) należy sprawdzać wg wzoru

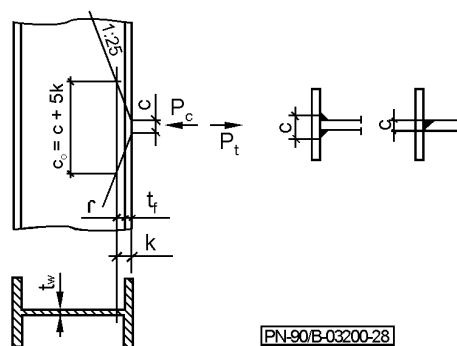
$$P \leq P_{R,w} = c_0 t_w \eta_c f_d \quad (98)$$

gdzie  $\eta_c$  - wg wzoru (23)

W przypadku siły rozciągającej  $P_t$  powinien być ponadto spełniony warunek

$$P_t \leq P_{R,f} = \left[ c(t_w + 2r) + 7t_f^2 \right] f_d \quad (99)$$

b) Nośność (stateczność) środników elementów spawanych należy sprawdzać wg 4.2.4 i 4.2.5.



Rys. 28

#### 6.4.2. Połączenia spawane belek ze słupami

- Nośność połączenia belki z dwuteowym lub skrzynkowym słupem jest uwarunkowana nośnością środnika (lub środników) słupa oraz szerokością współpracującą pasów belki.
- Szerokość współpracującą pasów ( $b_{ec}$  i  $b_{et}$ ) można wyznaczać wg zależności podanych w tabl. 19, przy czym jeśli  $b_e < 0,7b$ , to należy stosować żebra usztywniające.
- Spoiny łączące belkę ze słupem zaleca się wymiarować na pełną nośność przekroju belki.

#### 6.5. Oparcie i łożyska belek

- Przy oparciu nieuzębrowanej belki na stalowej podkładce lub podciągu (rys. 29) należy sprawdzić nośność środnika wg 6.4.1 (w tym drugim przypadku - w obu belkach).

Tablica 19

| Połączenie - przekrój słupa                                                                                                                               |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| dwuteowy                                                                                                                                                  | skrzynkowy                         |
|                                                                                                                                                           |                                    |
| Szerokość współpracująca $b_e (0,7b \leq b_e \leq b)$                                                                                                     |                                    |
| $b_{et} = 7\varepsilon^2 t_f + 2t_w$                                                                                                                      | $b_{et} = 5\varepsilon t_f + 2t_w$ |
| $b_{ec} = 10\varepsilon^2 t_f + 2t_w$                                                                                                                     | $b_{ec} = 7\varepsilon t_f + 2t_w$ |
| gdzie:<br>$b_{et}$ - pasa rozciąganego<br>$b_{ec}$ - pasa ściskanego<br>$\varepsilon = \sqrt{\frac{215}{f_d}}$ ; $f_d$ - wytrzymałość obliczeniowa belki. |                                    |

b) Naprężenia w łożyskach podporowych należy sprawdzać wg wzorów:

- przy docisku powierzchni płaskich

$$\sigma_b \leq f_{db} \quad (100)$$

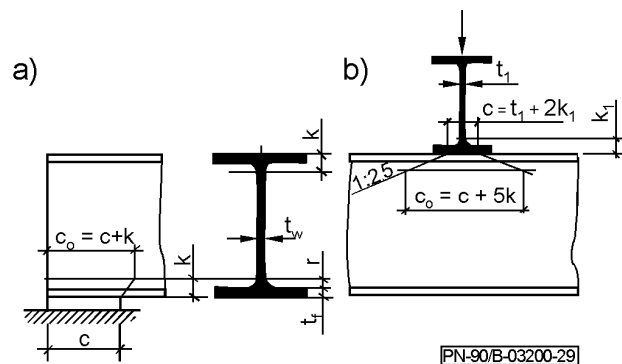
- przy docisku powierzchni płaskiej do walcowej (rys. 30a)

$$\sigma_{bH} = 0,42 \sqrt{\frac{pE}{r}} \leq f_{dbH} \quad (101)$$

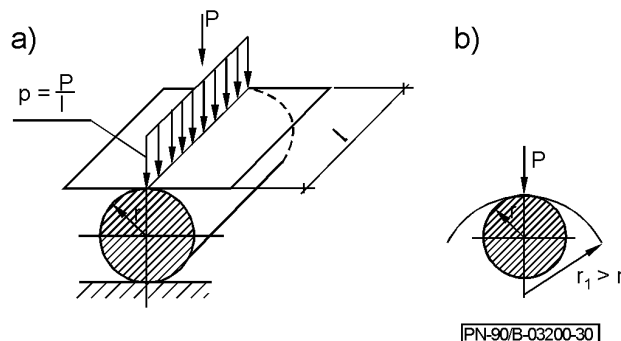
- przy docisku powierzchni walcowych (rys. 30b)

$$\sigma_{bH} = 0,42 \sqrt{pE \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right)} \leq f_{dbH} \quad (102)$$

przy czym dodatkowo powinien być spełniony warunek (100) dla  $\sigma_b = p/2r$ ,  
gdzie  $p$  - obciążenie liniowe na jednostkę długości wałka,  $f_{db}$ ,  $f_{dbH}$  - wg tabl. 3.



Rys. 29



Rys. 30

## 6.6. Styki i podstawy słupów

a) Przy projektowaniu styków należy uwzględnić wszystkie składowe obciążenia oraz dodatkowo obciążenie momentem  $\Delta M_i$

$$\Delta M_i = N \left( \frac{1}{\varphi_i} - 1 \right) W_i / A \quad (103)$$

przy czym  $\Delta M_i$ , współczynnik wyboczeniowy  $\varphi_i$  oraz wskaźnik wytrzymałości przekroju słupa  $W_i$  przyjmuje się stosownie do rozpatrywanej płaszczyzny wyboczenia - względem osi X lub Y.

b) Jeśli powierzchnie łączonych części są obrobione mechanicznie, to można przyjąć, że 75% siły ściskającej  $N$  w styku spawanym przenosi się bezpośrednio przez docisk.

c) W przypadku słupów krępych ( $\bar{\lambda} \leq 1$ ) ściskanych osiowo siłą  $N$ , łączniki powinny być zdolne do przeniesienia siły

rozciągającej równej:

0,5N - gdy odległość styku od głowicy lub podstawy słupa jest większa niż  $1/4$  wysokości słupa,

0,1N - w pozostałych przypadkach.

d) Podstawy i zakotwienia słupów należy projektować wg [PN-85/B-03215](#).

## 7. POSTANOWIENIA PRZEJŚCIOWE

Dopuszcza się stosowanie PN-80/B-03200 do dnia 31 grudnia 1995 r. w takim zakresie, jak to wynika z postanowień aktualnie obowiązujących norm odwołujących się do PN-80/B-03200.

KONIEC



## PARAMETRY STATECZNOŚCI ELEMENTÓW KONSTRUKCJI

## 1. DŁUGOŚĆ WYBOCZENIOWA ELEMENTÓW KONSTRUKCJI KRATOWYCH

Jeśli nie przeprowadza się dokładnej analizy, ani też inne przepisy nie stanowią inaczej, to długość wyboczeniową  $l_e$  zaleca się przyjmować jak następuje:

a) pasy oraz słupki i krzyżulce podporowe

$$l_e = l_0$$

gdzie  $l_0$  - długość teoretyczna pręta między węzłami skratowania lub osiowy rozstaw stężeń bocznych (przy wyboczeniu pasa z płaszczyzny kratownicy),

b) inne pręty skratowania ( $l_0$  - jak w poz. a)

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie kratownicy:

$l_e = 0,8l_0$  - gdy połączenia są wystarczająco sztywne,

$l_e = l_1$  - w pozostałych przypadkach, gdzie  $l_1$  - odległość między przegubami lub długości pręta w świetle pasów (przy innych połączeniach);

- przy wyboczeniu z płaszczyzny kratownicy:

$l_e = l_0$  - gdy pasy mają przekrój otwarty,

$l_e = 0,8l_0$  - gdy pasy mają przekrój zamknięty oraz połączenia są wystarczająco sztywne,

$l_e = l_1$  - gdy pasy mają przekrój zamknięty, a połączenia nie są wystarczająco sztywne, gdzie  $l_1$  - długość pręta w świetle pasów.

Połączenie pręta z pasem można uważać za wystarczająco sztywne w rozpatrywanej płaszczyźnie wyboczenia, jeśli jego nośność przy zginaniu jest nie mniejsza niż  $\Delta M$  - wg wzoru (103).

Jeśli połączenia pręta z pasem mają odmienny charakter, to można przyjmować uśrednioną wartość  $l_e$ .

c) długość wyboczeniową w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kratownicy pręta ciągłego, skrzyżowanego z prętem rozciągany (rys. Z1-1) można określać wg wzoru

$$l_e = l_c \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t}{N_c} \cdot \frac{l_c}{l_t}} \text{ lecz } \geq 0,5 l_c \quad (\text{Z1-1})$$

w którym:

$N_t$ ,  $N_c$  - bezwzględne wartości sił w pręcie rozciągany i ściskany,

$l_c$ ,  $l_t$  - teoretyczne długości przekątnych pola skratowania;

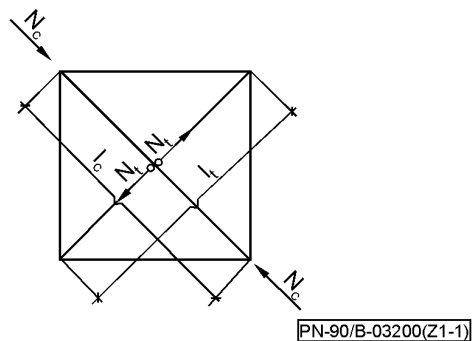
d) długość wyboczeniową słupka kratownicy półkrzyżulcowej w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kratownicy (rys. Z1-2) można określić wg wzoru

$$l_e = l_0 \left( 0,75 + 0,25 \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (\text{Z1-2})$$

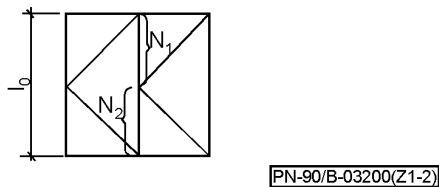
w którym:

$l_0$  - teoretyczna długość słupka (w osiach pasów),

$N_1$ ,  $N_2$  - siły w słupku, przy czym  $|N_1| \leq |N_2|$ .



Rys. Z1-1



Rys. Z1-2

## 2. DŁUGOŚĆ WYBOCZENIOWA SŁUPÓW

Współczynniki długości wyboyczeniowej słupów  $\mu$  w układach ramowych można przyjmować wg nomogramów na rys. Z1-3, w zależności od stopnia podatności węzłów:  $\mu = \mu(n_1, n_2)$ .  
Stopień podatności węzła jest określony zależnością

$$\kappa = K_c / (K_c + K_0) \quad \text{lecz} \quad \kappa \geq 0,3 \quad (Z1-3)$$

w której:

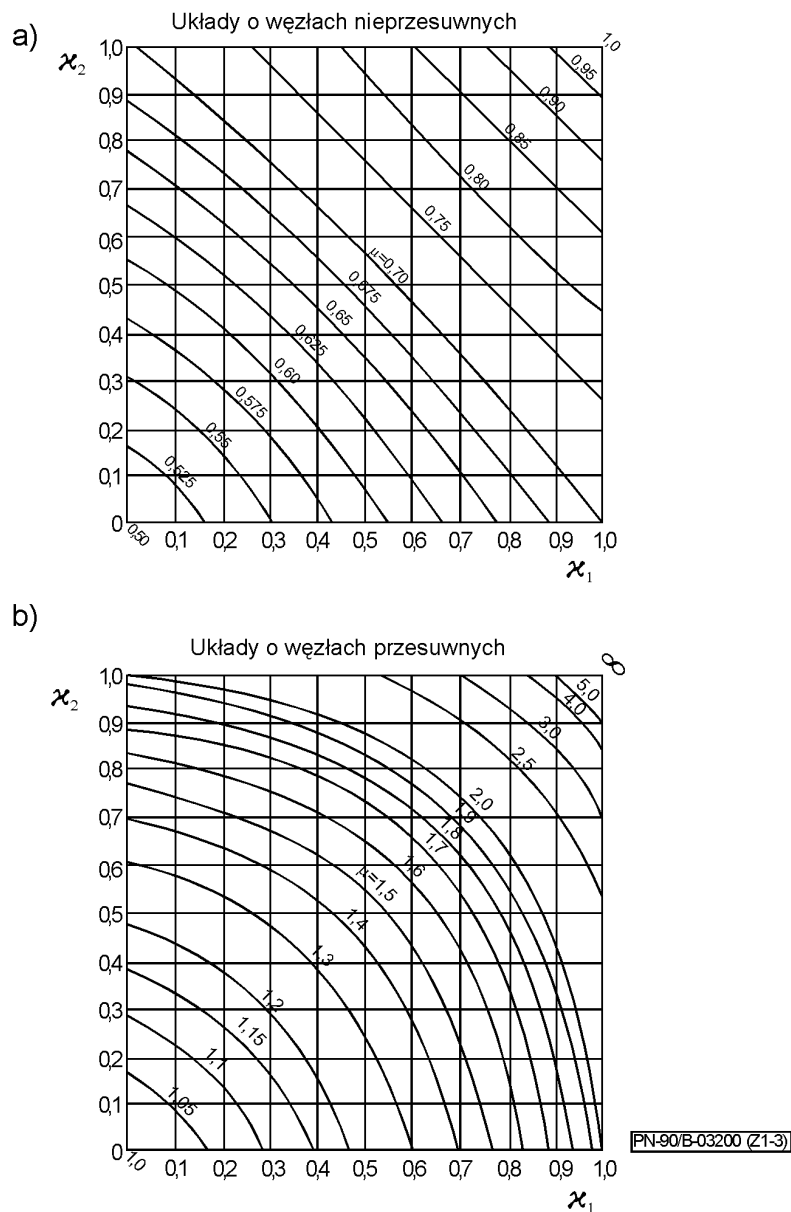
$K_c$  - sztywność słupa:

$$K_c = I_c / h,$$

$I_c, h$  - moment bezwładności i wysokość (długość obliczeniowa) słupa;  
 $K_0$  - sztywność zamocowania:

$$K_0 = \sum (\eta I_b / l_b)$$

$I_b, l_b$  - moment bezwładności i rozpiętość belki - rygla,



Rys. Z1-3

$\Sigma$  - sumowanie obejmuje elementy leżące w płaszczyźnie wybożenia i sztywno połączone ze słupem w rozpatrywanym węźle;

$\eta$  - współczynnik uwzględniający warunki podparcia na drugim końcu belki-rygla:

- w przypadku układu o węzłach nieprzesuwnych:

$\eta = 1,5$  przy podparciu przegubowym,

$\eta = 2$  przy sztywnym utwierdzeniu;

- w przypadku układu o węzłach przesuwnych:

$\eta = 0,5$  przy podparciu przegubowym,

$\eta = 1,0$  przy sztywnym utwierdzeniu;

Dla stopy sztywnej (przenoszącej ściskanie ze zginaniem) można przyjmować  $K_0 = K_c$ ; w pozostałych przypadkach  $K_0 = 0,1 K_c$ .

### 3. WZORY I TABLICE DO OBLICZANIA OBCIĄŻENIA KRYTYCZNEGO PRZY NIESTATECZNOŚCI GIĘTNO-SKRĘTNEJ

#### 3.1. Cechy geometryczne przekroju (tabl. Z1-1).

$I_y$  - moment bezwładności względem osi Y,

$I_T$  - moment bezwładności przy skręcaniu,

$I_{\omega}$  - wycinkowy moment bezwładności,

$y_s$  - współrzędna środka ścinania ( $y_s \geq 0$ ),  
 $a_0$  - współrzędna punktu przyłożenia obciążenia względem środka ciężkości,  
 $a_s$  - różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia obciążenia:

$$a_s = y_s - a_0,$$

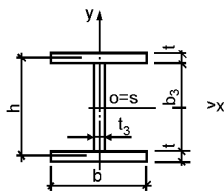
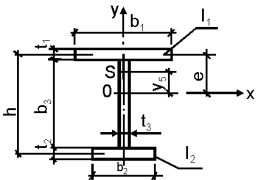
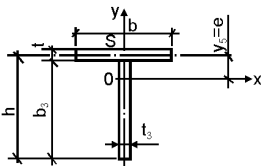
$r_x$  - ramię asymetrii ( $r_x \leq 0$ );

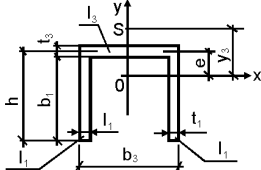
$$r_x = \frac{1}{I_x} \int_A y(x^2 + y^2) dA$$

$b_y$  - parametr zginania ( $b_y \geq 0$ ):

$$b_y = y_s - \frac{1}{2} r_x$$

**Tablica Z1-1**

| Przekrój                                                                            | Cechy geometryczne                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | $y_s = 0$<br>$I_w = \frac{I_y h^2}{4}$<br>$I_T = \frac{1}{3} (2bt^3 + b_3 t_3^3)$<br>$r_x = 0$                                                                                                                                                                                        |
|  | $y_s = \frac{1}{I_y} [eI_1 - (h-e)I_2] = e - \frac{I_2}{I_y} h$<br>$I_w = \frac{I_1 I_2 h^2}{I_1 + I_2}$<br>$I_T = \frac{1}{3} (b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + b_3 t_3^3)$<br>$r_x = \frac{1}{I_x} \left\{ y_s I_y + b_1 t_1 e^3 - b_2 t_2 (h-e)^3 + \frac{t_3}{4} [e^4 - (h-e)^4] \right\}$ |
|  | $y_s = e$<br>$I_w \cong 0$<br>$I_T = \frac{1}{3} (bt^3 + b_3 t_3^3)$<br>$r_x = \frac{1}{I_x} \left\{ eI_y + bte^3 + \frac{t_3}{4} [e^4 - (h-e)^4] \right\}$                                                                                                                           |

|                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                             | $y_s = e + \frac{I_1 h}{I_y}$ $I_w = \frac{h^2}{3} \cdot \frac{I_1^2 + 2I_1 I_3}{I_y} \quad (I_y = 2I_1 + I_3)$ $I_T = \frac{1}{3} (2b_1 t_1^3 + b_3 t_3^3)$ $r_x = \frac{1}{I_x} \left\{ e (b_3 t_3 e^2 + I_3) + (2e - h) I_1 + \frac{t_1}{2} [e^4 - (h - e)^4] \right\}$ |
| <p>Oznaczenia:<br/> O - środek ciężkości,<br/> S - środek ścinania,<br/> I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>(I<sub>3</sub>) - momenty bezwładności póltek (środnika) względem osi symetrii (y)</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                            |

$i_0$  - biegunowy promień bezwładności względem środka ciężkości:

$$i_0 = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}, \quad i_x = \sqrt{I_x / A}, \quad i_y = \sqrt{I_y / A}$$

$i_s$  - biegunowy promień bezwładności względem środka ścinania

$$i_s = \sqrt{i_0^2 + i_s^2}$$

### 3.2. Siły krytyczne przy ściskaniu osiowym

a) Wyboczenie giętne względem osi Y (przypadek Eulera)

$$N_{cr} = N_y = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu_y l)^2} \quad (Z1-4)$$

gdzie:

$\mu_y$  - współczynnik długości wyboczeniowej przy wyboczeniu giętym;

$l$  - długość (rozpiętość) elementu;

b) Wyboczenie skrętne

$$N_{cr} = N_z = \frac{1}{i_s^2} \left[ \frac{\pi^2 EI_\omega}{(\mu_\omega l)^2} + GI_T \right] \quad (Z1-5)$$

gdzie:

$\mu_\omega$  - współczynnik długości wyboczeniowej przy wyboczeniu skrętnym:  $\mu_\omega = l_\omega / l$ , gdzie  $l_\omega$  - odległość przekrojów o swobodnym spaceniu; dla podparcia widelkowego  $\mu_\omega = 1$ ;

$l$  - jak w poz. a);

c) Wyboczenie giętno-skrętne elementów o przekroju monosymetrycznym (względem osi Y)

$$N_{cr} = N_{yz} = \frac{(N_y + N_z) - \sqrt{(N_y + N_z)^2 - 4N_y N_z (1 - \mu_y^2 / i_s^2)}}{2(1 - \mu_y^2 / i_s^2)} \quad (Z1-6)$$

gdzie:  $\mu$  - współczynnik zależny od warunków podparcia:  $\mu \cong \sqrt{\mu_i / \mu_j}$ , przy czym  $\mu_i \leq \mu_j$  oraz  $i, j = y$  lub  $\omega$ ; dla podparcia widelkowego  $\mu = 1$ .

**3.3. Momenty krytyczne przy zwichrzeniu** można obliczać wg poniższych wzorów, przyjmując znak (-), gdy środek ścinania znajduje się w strefie rozciąganej przekroju lub znak (+), w pozostałych przypadkach, przy czym w przypadku przekrojów bisymetrycznych zwrot osi  $Y$  należy przyjmować przeciwnie do kierunku obciążenia poprzecznego, a przy jego braku - w stronę pasa ściskanego.

a) belka jednoprzęsłowa podparta widelkowo ( $\mu_x = \mu_y = \mu_\omega = 1$ ) i zginania stałym momentem

$$M_{cr} = \pm b_y N_y + \sqrt{(b_y N_y)^2 + i_s^2 N_y N_z} \quad (Z1-7)$$

b) belka jak w pozycji a) o przekroju bisymetrycznym ( $b_y = 0$ )

$$M_{cr} = i_s \sqrt{N_y N_z} \quad (Z1-8)$$

c) belka jednoprzęsłowa - rozwiązanie ogólne

$$M_{cr} = \pm A_0 N_y + \sqrt{(A_0 N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} \quad (Z1-9)$$

gdzie:  $A_0 = A_1 b_y + A_2 a_s$ ;  $A_1, A_2, B$  - wg tabl. Z1-2;

w przypadku belki wspornikowej o przekroju bisymetrycznym przyjmuje się  $\mu_y = \mu_\omega = 2$ ,  $A_1 = 0$ , a ponadto:

- przy zginaniu stałym momentem;

$$A_2 = 0; B = 1,$$

- przy obciążeniu równomiernie rozłożonym:

$$A_2 = 3,40; B = 4,10,$$

- przy sile skupionej na końcu wspornika:

$$A_2 = 1,10; B = 2,56;$$

d) belka jednoprzęsłowa o przekroju dwuteowym usztywniona bocznym stężeniem podłużnym, które wymusza położenie osi obrotu

$$M_{cr} = \frac{i_s^2 N_z + c_y^2 N_y}{C_1(c_y - b_y) + C_2(c_y - a_s)} \quad (Z1-10)$$

gdzie:

$c_y$  - różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przecięcia śladu płaszczyzny stężenia z osią środka;  $c_y = y_s - y_c$ ;

$C_1, C_2$  - wg tabl. Z1-2;

$N_z, N_y$  - siły krytyczne obliczone jak dla pręta bez stężenia.

**Tablica Z1-2**

| Obciążenie belki<br>(w płaszczyźnie symetrii przekroju YZ)                                                                                                                                                                                                                       | Warunki podparcia <sup>1)</sup> |    |         |              | Współczynniki |       |              |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----|---------|--------------|---------------|-------|--------------|-------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | w płaszczyźnie                  |    | $\mu_y$ | $\mu_\omega$ | $A_1$         | $A_2$ | $B$          | $C_1$ | $C_2$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | YZ                              | XZ |         |              |               |       |              |       |       |
| Moment stały ( $\beta = 1$ ) lub zmienny liniowo <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                                   | P                               | P  | 1       | 1            | $1/\beta$     | 0     | $1/\beta$    | 2     | 0     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | P                               | P  | 1       | 0,5          | $1,33/\beta$  | 0     | $1,15/\beta$ | -     | -     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | P                               | U  | 0,5     | 0,5          | $1/\beta$     | 0     | $1/\beta$    | 2     | 0     |
| Obciążenie równomiernie rozłożone                                                                                                                                                                                                                                                | P                               | P  | 1       | 1            | 0,61          | 0,53  | 1,14         | 0,93  | 0,81  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | P                               | P  | 1       | 0,5          | 1,23          | 0,52  | 1,31         | -     | -     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | P                               | U  | 0,5     | 0,5          | 0,68          | 0,29  | 0,97         | 1,43  | 0,61  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | U                               | U  | 0,5     | 0,5          | 0,27          | 1,61  | 1,88         | 0,15  | 0,91  |
| Siła skupiona w środku rozpiętości                                                                                                                                                                                                                                               | P                               | P  | 1       | 1            | 0,55          | 0,76  | 1,37         | 0,60  | 0,81  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | P                               | P  | 1       | 0,5          | 1,07          | 0,87  | 1,46         | -     | -     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | P                               | U  | 0,5     | 0,5          | 0,62          | 0,50  | 1,12         | 1     | 0,81  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  | U                               | U  | 0,5     | 0,5          | 0             | 1,23  | 1,23         | 0     | 1,62  |
| <sup>1)</sup> P - podparcie obustronnie przegubowe (swobodne); U - obustronnie utwierdzenie;<br>$\mu_y$ , $\mu_\omega$ - współczynniki długości wyboczeniowej w płaszczyźnie XY i przy skręcaniu.<br><sup>2)</sup> Współczynnik $\beta$ należy przyjmować wg tabl. 12 - poz. a). |                                 |    |         |              |               |       |              |       |       |

## WARTOŚCI POMOCNICZE DO OBLICZANIA POŁĄCZEŃ ŚRUBOWYCH

Tablica Z2-1

| Rodzaj i sposób przygotowania powierzchni <sup>1)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                            | Współczynnik tarcia, $\mu$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Nie malowana <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Powierzchnia bez specjalnego przygotowania, nie zaoliwiona                 | 0,20                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Oczyszczenie ręczne szczotką drucianą z usunięciem zendry i rdzy           | 0,30                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Opalanie płomieniem acetylenowo-tlenowym                                   | 0,40                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Śrotowanie lub piaskowanie                                                 | 0,45                       |
| Malowana natryskowo (po śrutowaniu lub piaskowaniu)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Powłoka krzemianowo-cynkowa alkaliczna o grubości $60 \div 80 \mu\text{m}$ | 0,20                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Powłoka krzemianowo-cynkowa "Korsil" o grubości $60 \div 80 \mu\text{m}$   | 0,45 <sup>3)</sup>         |
| Metalizowana (po śrutowaniu lub piaskowaniu)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Cynkowanie ogniowe                                                         | 0,10(0,30) <sup>4)</sup>   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Natrysk cynku o grubości $50 \div 70 \mu\text{m}$                          | 0,25(0,40) <sup>4)</sup>   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Natrysk aluminium o grubości $\geq 50 \mu\text{m}$                         | 0,50                       |
| <p>1) W przypadku połączeń, które wymagają specjalnych zabiegów wykonawczych warunki techniczne wykonania i odbioru powinny być uzgodnione z wykonawcą. W uzasadnionych przypadkach zaleca się eksperymentalną weryfikację skuteczności metod wykonawczych na budowie.</p> <p>2) Wykonanie połączenia bezpośrednio po przygotowaniu powierzchni.</p> <p>3) Przy malowaniu pędzlem <math>\mu = 0,40</math>.</p> <p>4) Przy obciążeniu statycznym można przyjąć wartości podane w nawiasach.</p> |                                                                            |                            |

Tablica Z2-2



| Klasy właściwości mechanicznych śrub (nakrętek) <sup>1)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                              |                |                |                |                |                |                |                   |                |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|
| Symbol klasy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,6(4)                                                                                       | 4,6(4)         | 4,8(4)         | 5,6(4)         | 5,8(5)         | 6,6(5)         | 6,8(8)         | 8,8(8)            | 10,9(10)       | 12,9(12)       |
| $R_m$ , MPa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 330                                                                                          | 400            | 420            | 500            | 520            | 600            | 600            | 800 <sup>2)</sup> | 1040           | 1220           |
| $R_e$ , MPa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 190                                                                                          | 240            | 340            | 300            | 420            | 360            | 480            | 640 <sup>2)</sup> | 940            | 1100           |
| Śruba ( $A_s$ , mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Nośność obliczeniowa śrub na rozciąganie $S_{Rt}$ (na ścinanie $S_{Rv}$ ) <sup>3)</sup> , kN |                |                |                |                |                |                |                   |                |                |
| $\frac{M10}{A_s = 58,0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 9,4<br>(11,7)                                                                                | 11,8<br>(14,1) | 15,9<br>(14,8) | 14,8<br>(17,7) | 19,6<br>(18,4) | 17,7<br>(21,2) | 22,7<br>(21,2) | 30,2<br>(28,3)    | 39,2<br>(36,7) | 46,1<br>(43,1) |
| $\frac{M12}{A_s = 84,3}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 13,6<br>(16,8)                                                                               | 17,2<br>(20,3) | 23,0<br>(21,4) | 21,5<br>(25,4) | 28,5<br>(26,4) | 25,8<br>(30,5) | 32,9<br>(30,5) | 43,8<br>(40,7)    | 57,0<br>(52,9) | 67,0<br>(62,0) |
| $\frac{M16}{A_s = 157}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 25,3<br>(29,9)                                                                               | 32,0<br>(36,2) | 42,8<br>(38,0) | 40,0<br>(45,2) | 53,0<br>(47,0) | 48,1<br>(54,3) | 61,1<br>(54,3) | 81,3<br>(72,4)    | 106<br>(94,1)  | 125<br>(110)   |
| $\frac{M20}{A_s = 245}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 39,6<br>(46,7)                                                                               | 50,0<br>(56,5) | 67,0<br>(59,3) | 62,5<br>(70,7) | 82,6<br>(73,5) | 75,0<br>(84,8) | 95,6<br>(84,8) | 132<br>(117)      | 166<br>(150)   | 196<br>(172)   |
| $\frac{M24}{A_s = 353}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 57,0<br>(67,2)                                                                               | 72,1<br>(81,4) | 96,2<br>(85,4) | 90,0<br>(102)  | 120<br>(106)   | 108<br>(122)   | 138<br>(122)   | 190<br>(169)      | 239<br>(212)   | 280<br>(248)   |
| $\frac{M30}{A_s = 561}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 90,6<br>(105)                                                                                | 114<br>(127)   | 153<br>(134)   | 143<br>(159)   | 190<br>(165)   | 172<br>(191)   | 219<br>(191)   | 303<br>(265)      | 379<br>(331)   | 445<br>(388)   |
| <sup>1)</sup> Do połączeń zwykłych zaleca się stosować śruby klasy 4,8 o średnicy $d \leq 20$ mm lub klasy 5,6 o średnicy $d > 20$ mm; stosowanie śrub klas: 3,6; 4,6; 5,6 i 6,6 o średnicy $d \leq 20$ mm jest niewskazane, ze względu na konieczność dodatkowych zabiegów technologicznych przy ich produkcji.<br><sup>2)</sup> Dla śrub $d > 16$ mm, $R_m = 830$ MPa, $R_e = 660$ MPa.<br><sup>3)</sup> Wartości $S_{Rv}$ , podane w nawiasach, dotyczą ścinania w jednej płaszczyźnie, na odcinku niegwintowanym. |                                                                                              |                |                |                |                |                |                |                   |                |                |

### ZAŁĄCZNIK 3

#### ZASADY SPRAWDZANIA NOŚNOŚCI KONSTRUKCJI ZE WZGLĘDU NA ZMĘCZENIE MATERIAŁU (WYSOKOCYKLOWE)

##### 1. Postanowienia ogólne.

- a) Nośność konstrukcji ze względu na zmęczenie materiału należy dodatkowo sprawdzać w przypadku obciążeń wielokrotnie zmiennych, gdy sumaryczna liczba cykli naprężeń  $N$  w przewidywanym okresie eksploatacji konstrukcji jest większą niż  $10^4$ .
- b) Podane niżej zasady, krzywe i kategorie zmęczeniowe dotyczą elementów konstrukcji eksploatowanych w przeciętnych warunkach zagrożenia korozją, w temperaturze nie większej niż  $150^\circ\text{C}$  i w których maksymalne zakresy zmienności naprężeń w stanie sprężystym spełniają warunki:  $\max \Delta\sigma \leq 1,5f_d$  oraz

$$\max \Delta\tau \leq 1,5f_d / \sqrt{3} \cong 0,9f_d.$$

##### 2. Zakres zmienności naprężeń

- a) Do wyznaczenia miarodajnych naprężeń w stanie sprężystym należy przyjmować wartości charakterystyczne obciążeń eksploatacyjnych ( $\gamma_f = 1$ ), pomnożone przez współczynnik dynamiczny i współczynnik konsekwencji zniszczenia ( $\gamma_n \geq 1$ ).
- b) Jeśli oprócz typowego karbu przypisanego określonej kategorii zmęczeniowej elementu występują dodatkowe czynniki lokalnego spiętrzenia naprężeń, to należy w obliczeniach przyjmować odpowiednio zwiększony zakres zmienności naprężeń.
- c) Obliczeniowy zakres zmienności naprężeń normalnych (stycznych) o stałej amplitudzie przyjmuje się równy algebraicznej różnicy maksymalnego i minimalnego naprężenia w rozpatrywanym punkcie konstrukcji, tj.:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (\Delta\tau = \tau_{\max} - \tau_{\min}) \quad (Z3-1)$$

przy czym w przypadku naprężeń przemiennych lub wyłącznie ściskających ( $\Delta\sigma_t = 0$ ), można przyjmować

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_t + 0,6\Delta\sigma_c \quad (Z3-2)$$

gdzie  $\Delta\sigma_t$ ,  $\Delta\sigma_c$  - zakresy zmienności naprężeń rozciągających i ściskających.

d) W przypadku niejednorodnego widma naprężeń można przyjmować równoważny zakres zmienności naprężeń określony wzorem

$$\Delta\sigma_e = \alpha_K \cdot \max \Delta\sigma \quad (\Delta\tau_e = \alpha_K \cdot \max \Delta\tau) \quad (Z3-3)$$

gdzie:

$\max\Delta\sigma$  ( $\max\Delta\tau$ ) - maksymalny dla całego widma zakres zmienności naprężeń normalnych (stycznych);

$\alpha_K$  - współczynnik niejednorodności widma, który oblicza się wg wzoru:

$$\alpha_K = K^{1/m} \quad (\text{gdy znana jest klasa obciążenia}) \quad (Z3-4a)$$

lub wg wzoru ogólnego:

$$\alpha_K = \left[ \sum (p_i m_i) \frac{n_i}{N} \right]^{1/m} \quad (Z3-4b)$$

gdzie:

$p_i$ ,  $n_i$  - parametry  $i$ -tej składowej widma naprężeń;

$m_i$  - wykładnik zależny o liczby cykli  $n_i$ ;

$m$  - wykładnik zależny o sumarycznej liczby cykli  $N$ .

$p_i = p_i(\sigma)$  lub  $p_i(\tau)$ ;  $N = \sum n_i$ ;

$p_i(\sigma) = (\Delta\sigma_i / \max\Delta\sigma)$ , przy czym:

$m$ ,  $m_i = 3$  dla  $N$ ,  $n_i \leq 5 \cdot 10^6$

$m$ ,  $m_i = 5$  dla  $N$ ,  $n_i > 5 \cdot 10^6$

$p_i(\Delta\tau_i / \max\Delta\tau)$ , przy czym  $m$ ,  $m_i = 5$ ;

### 3. Wytrzymałość zmęczeniowa

a) Wytrzymałość zmęczeniową  $\Delta\sigma_R$  i  $\Delta\tau_R$  ustala się w zależności od przewidywanej liczby cykli naprężeń  $N$  i kategorii zmęczeniowej elementu konstrukcji lub połączenia ( $\Delta\sigma_C$ ,  $\Delta\tau_C$ ), którą można określać wg tabl. Z3-1 lub wg innych bardziej szczegółowych przepisów.

b) Wytrzymałość zmęczeniową oblicza się wg wzorów

$$\Delta\sigma_R = 0,735 \Delta\sigma_C \left( \frac{5 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \geq \Delta\sigma_L \quad (Z3-5)$$

przy czym:  $m = 3$  dla  $N \leq 5 \cdot 10^6$ ;  $m = 5$  dla  $N > 5 \cdot 10^6$

oraz

$$\Delta\tau_R = \Delta\tau_C \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{5}} \geq \Delta\tau_L \quad (Z3-6)$$

gdzie:

$\Delta\sigma_c, \Delta\tau_c$  - kategoria zmęczenia (wytrzymałość zmęczenia normatywna),

$\Delta\sigma_L, \Delta\tau_L$  - wytrzymałość zmęczenia trwała tabl. Z3-2.

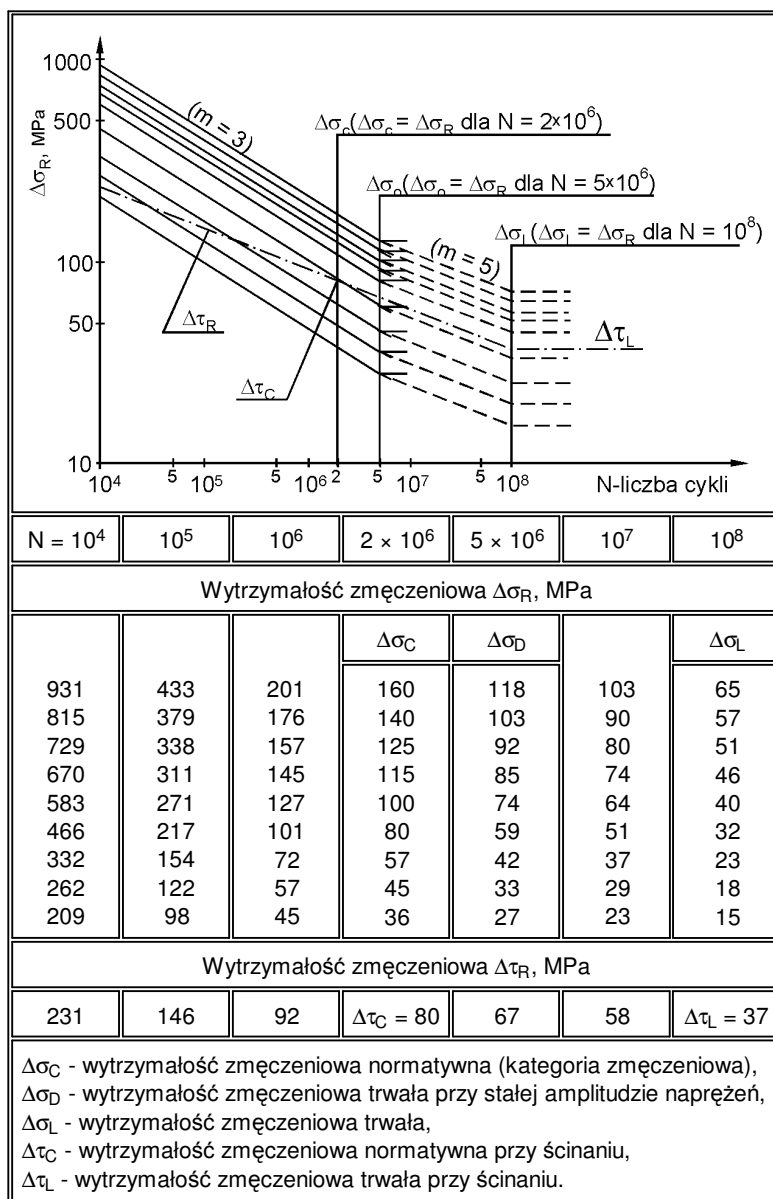
Wytrzymałość zmęczenia dla wybranych liczb N podano w tabl. Z3-2.

**Tablica Z3-1**

| Opis elementu (karbu)                                                                                                                                                           | Kategoria zmęczenia<br>$\Delta\sigma_c (\Delta\tau_c)^*$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Elementy niespawane                                                                                                                                                             |                                                          |
| - elementy walcowane, ciągnione lub gięte (kształtowniki, rury bez szwu, blachy, płaskowniki); powierzchnie cięte palnikiem powinny mieć 1 klasę chropowatości wg PN-76/M-69774 | 160                                                      |
| - elementy jw. z otworami na łączniki                                                                                                                                           | 140                                                      |
| - blachy surowe po automatycznym cięciu palnikiem                                                                                                                               | 125                                                      |
| Łączniki w połączeniach niesprężanych                                                                                                                                           |                                                          |
| - łączniki śrubowe rozciągane                                                                                                                                                   | 36                                                       |
| - śruby, nity i kołki ścinane                                                                                                                                                   | (80)                                                     |
| Kształtowniki spawane (dwuteowe, teowe, skrzynkowe ze spoinami podłużnymi)                                                                                                      |                                                          |
| - ciągłymi specjalnej jakości (obrobionymi)                                                                                                                                     | 125                                                      |
| - ciągłymi, wykonywanymi automatycznie                                                                                                                                          | 115                                                      |
| - ciągłymi, wykonywanymi ręcznie                                                                                                                                                | 100                                                      |
| - przerywanymi (pachwinowymi) itp.                                                                                                                                              | 80                                                       |
| Styki poprzeczne spawane                                                                                                                                                        |                                                          |
| - styki kształtowników i styki blach na spoiny czołowe pełne specjalnej jakości (obrobione)                                                                                     | 115                                                      |
| - inne styki poprzeczne i elementy w strefie żeber poprzecznych (zakończonych w odległości nie mniejszej niż 10 mm od krawędzi elementu)                                        | 80                                                       |
| Elementy w strefie zakończenia nakładek spawanych                                                                                                                               |                                                          |
| - przy grubości nakładki i pasa mniejszej niż 20 mm                                                                                                                             | 45                                                       |
| - przy grubości materiału większej niż 20 mm                                                                                                                                    | 36                                                       |
| Elementy w połączeniach zakładkowych (rys. 20)                                                                                                                                  |                                                          |
| - elementy główne: (do obliczeń $\sigma$ należy przyjmować szerokość nie większą niż rozstaw spoin podłużnych zwiększony o ich długość)                                         | 57                                                       |
| - elementy dopasowane                                                                                                                                                           | 45                                                       |
| Połączenia teowe i krzyżowe                                                                                                                                                     |                                                          |
| - spoiny czołowe K specjalnej jakości (obrobione)                                                                                                                               | 80                                                       |
| - inne styki wymiarowane na pełną nośność przekroju                                                                                                                             | 57                                                       |
| - spoiny pachwinowe o nośności mniejszej niż nośność łącznego elementu                                                                                                          | 36                                                       |
| Styki pasa ze środnikiem w elementach obciążonych siłą skupioną (np. w belkach podsuwnicowych, rys. 2; $\sigma = \sigma_p$ )                                                    |                                                          |
| - spoiny czołowe K specjalnej jakości (obrobione)                                                                                                                               | 80                                                       |

|                                                                                                          |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| - spoiny czołowe K normalnej jakości                                                                     | 57   |
| - dwustronne spoiny pachwinowe obrobione                                                                 | 45   |
| - dwustronne spoiny pachwinowe normalnej jakości                                                         | 36   |
| Spoiny pachwinowe obciążone (ścianane) w kierunku długości spoiny - ciągle i w połączeniach zakładkowych | (80) |
| * Dla elementów $\Delta\tau_C = 80$ MPa.                                                                 |      |

Tablica Z3-2



c) Gdy grubość  $t$  ścianki, blachy lub innej części jest większa niż 25 mm, to należy przyjmować zredukowaną wytrzymałość obliczeniową

$$\Delta\sigma_{R, \text{red}} = \Delta\sigma_R (25/t)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Z3-7})$$

#### 4. Warunki nośności

a) Nośność konstrukcji ze względu na zmęczenie materiału należy sprawdzać wg wzorów:

$$\Delta\sigma_e \leq \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_{fat}} \text{ oraz } \Delta\tau_e \leq \frac{\Delta\tau_R}{\gamma_{fat}} \quad (Z3-8)$$

w których  $\gamma_{fat}$  - częściowy współczynnik bezpieczeństwa przy zmęczeniu materiału:  $\gamma_{fat} = 1 \div 1,2$ ; współczynnik ten należy przyjmować w zależności od warunków eksploatacji, inspekcji i konserwacji konstrukcji; gdy wymienione warunki nie odbiegają od przeciętnych można przyjmować  $\gamma_{fat} = 1$ , natomiast w skrajnie niekorzystnych warunkach należy przyjmować  $\gamma_{fat} = 1,2$ .

b) W przypadku złożonego stanu naprężeń wartość  $\Delta\sigma_c$  należy wyznaczać dla bezwzględnie największych naprężeń głównych.

c) Jeśli w rozpatrywanym punkcie konstrukcji ekstremalne wartości naprężeń normalnych i stycznych nie występują jednocześnie, to sprawdzenie można przeprowadzać wg wzoru

$$\left( \frac{\Delta\sigma_e}{\Delta\sigma_R} \right)^3 + \left( \frac{\Delta\tau_e}{\Delta\tau_R} \right)^5 \leq 1 \quad (Z3-9)$$

## OBLICZANIE I PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI Z UWZGLĘDNIENIEM PLASTYCZNEJ REZERWY NOŚNOŚCI

- 1. Zasady i wymagania ogólne.** Metody i oszacowania teorii nośności granicznej można stosować przy projektowaniu belek i ram płaskich obciążonych przeważająco statycznie, a także przy ocenie nośności konstrukcji w sytuacjach wyjątkowych (awaryjnych), jeśli konstrukcja spełnia warunki niezbędne do plastycznej redystrybucji sił wewnętrznych, a w szczególności:
- stal, z jakiej zaprojektowane są kształowniki i blachy charakteryzuje się wydłużalnością  $A_5 \geq 15\%$  i stopniem wzmocnienia  $R_m/R_e \geq 1,2$ ;
  - każdy element, w którym mogą powstać przeguby plastyczne jest homogeniczny, pełnościenny i ma stały, co najmniej monosymetryczny przekrój klasy 1 (p. 4.1.3);
  - połowa obciążenia (zginania) pokrywa się z osią symetrii przekroju (brak skręcania);
  - elementy zginane względem osi największej bezwładności przekroju są zabezpieczone przed zwichrzeniem (p. 4.5.1); w miejscach potencjalnych przegubów plastycznych elementy są zabezpieczone przed przemieszczeniem (obrotem) z płaszczyzny układu;
  - w miejscach działania obciążeń skupionych, w których mogą powstać przeguby plastyczne elementy są usztywnione żebrami poprzecznymi;
  - połączenia zginane (węzły sztywne) w miejscach lub bezpośrednim sąsiedztwie przegubów plastycznych mają nośność nie mniejszą niż nośność przekroju elementów łączonych.

**2. Przegub plastyczny. Współczynnik rezerwy plastycznej przekroju**

- a) Przegub plastyczny utożsamia się ze stanem pełnego uplastycznienia przekroju w wyniku plastycznej redystrybucji naprężeń, będących w równowadze z dowolną kombinacją sił przekrojowych.

Tablica Z4-1

| Zakres siły poprzecznej        | Warunki nośności dla bisymetrycznego przekroju dwuteowego w stanie plastycznym                                                                |                                  |                                                                           |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                | $\frac{V_x}{V_{Rx}} \leq 0,35$                                                                                                                | $\frac{V_y}{V_{Ry}} \leq 0,25$   | $\frac{V_x}{V_{Rx}} \leq 0,6$                                             | $\frac{V_x}{V_{Rx}} \leq 1$       |
| $\frac{N}{N_R} = 0$            | $\frac{M_x}{M_{Rx}} \leq 1$                                                                                                                   | $\frac{M_y}{M_{Ry}} \leq 1^{3)}$ | $\frac{M_x}{M_{Rx}} \leq 1$                                               | $\frac{M_x}{M_{R,V}} \leq 1^{1)}$ |
| $\frac{N}{N_R} \leq c^{2),3)}$ |                                                                                                                                               |                                  | $0,85 \frac{M_x}{M_{Rx}} + 0,4 \frac{V_x}{V_{Rx}} \leq 1$                 |                                   |
| $\frac{N}{N_R} \leq 1$         | $(1 - c) \frac{M_x}{M_{Rx}} + \frac{N}{N_R} \leq 1$                                                                                           |                                  | $0,8 \frac{M}{M_{Rx}} + 0,9 \frac{N}{N_R} + 0,35 \frac{V}{V_{Rx}} \leq 1$ |                                   |
|                                | $\frac{N}{N_R} + 0,85 \frac{M_x}{M_{Rx}} + 0,6 \frac{M_y}{M_{Ry}} \leq 1$<br><br><i>oraz</i> $\frac{M_x}{M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} \leq 1$ |                                  |                                                                           |                                   |

<sup>1)</sup>  $M_{R,V}$  - nośność obliczeniowa zredukowana wg wzoru (45).

<sup>2)</sup> Wartość parametru  $c$  przyjmuje się stosownie do typu przekroju:

- dla dwuteowników walcowanych szerokostopowych (HEB, HEA):  $c = 0,1$ ,
- dla dwuteowników walcowanych IPE i IPN:  $c = 0,18$ ,
- dla dwuteowników spawanych:  $c = 0,5 A_w/A \leq 0,25$

gdzie  $A_w$  - pole przekroju środnika.

<sup>3)</sup> Dla dwuteowników zginanych względem osi najmniejszej bezwładności przekroju ( $y$ ) można przyjąć  $2c$  zamiast  $c$ .

b) Współczynnik rezerwy plastycznej przekroju przy zginaniu definiuje się jako stosunek momentu przenoszonego przez przegub plastyczny  $M_{pl}$  do granicznego momentu w stanie sprężystym  $M_{el}$ , a jego wartość teoretyczna wynosi

$$\alpha_{pl} = \frac{W_{pl}}{W} = \frac{1}{W} (|S_c| + |S_t|) \quad (Z4-1)$$

gdzie:

$W_{pl}$  - wskaźnik oporu plastycznego przy zginaniu, równy sumie bezwzględnych wartości momentów statycznych ściskanej ( $A_c$ ) i rozciąganej ( $A_t$ ) strefy przekroju względem osi obojętnej w stanie pełnego uplastycznienia, w którym zachodzi

$$A_c = A_t = \frac{1}{2} A.$$

$W$  - wskaźnik wytrzymałości (sprężysty).

c) Do projektowania konstrukcji należy przyjmować obliczeniowy współczynnik rezerwy plastycznej przekroju, określony wzorem

$$\alpha_p = \frac{1}{2} (1 + \alpha_{pl}) \quad (Z4-2)$$

Dla dwuteowników walcowanych, zginanych w płaszczyźnie środka można przyjmować:

$\alpha_{px} = 1,07$  - dla dwuteowników IPN i IPE,

$\alpha_{px} = 1,05$  - dla dwuteowników szerokostopowych HEA i HEB.

d) W złożonym stanie obciążenia ( $M$ ,  $N$ ,  $V$ ) obowiązują interakcyjne warunki nośności. Uprozczone (zlinearyzowane) warunki interakcyjne dla przekroju dwuteowego podano w tabl. Z4-1. W innych przypadkach nośność obliczeniową uogólnionego przegubu plastycznego można obliczać wg wzoru

$$M_{R, red} = \frac{M_{pl, red}}{M_{pl}} M_R \quad (Z4-3)$$

gdzie  $M_R = \alpha_p W f_d$

**3. Nośność graniczna. Współczynnik rezerwy plastycznej układu prętowego  $\alpha_u$ ,** wynikający z plastycznej redystrybucji sił wewnętrznych, oblicza się wg wzoru

$$\alpha_u = \frac{F_{pl}}{F_{(1)}} \quad (Z4-4)$$

gdzie:

$F_{pl}$  - wartość obciążenia, wyznaczona z warunku równowagi granicznej, przy której układ (lub jego część) staje się geometrycznie zmienny;

$F_{(1)}$  - wartość obciążenia, przy której tworzy się pierwszy uogólniony przegub plastyczny.

Jeśli konstrukcja jest zabezpieczona przed wszelkimi formami niestateczności, to jej nośność można sprawdzać wg wzoru

$$F \leq F_u = \alpha_u \cdot F_{u,1} \quad (Z4-5)$$

gdzie:

$F$  - obciążenie obliczeniowe,

$F_u$  - nośność graniczna obliczeniowa,

$\alpha_u$  - wg wzoru (Z4-4), przy czym do projektowania konstrukcji należy przyjmować  $\alpha_u \leq \bar{\gamma}_f$ , gdzie  $\bar{\gamma}_f$  - średni

(ważony) współczynnik obciążenia,

$F_{u,1}$  - wartość obciążenia, przy której pierwszy przekrój krytyczny osiąga nośność obliczeniową uogólnionego przegubu plastycznego.

**4. Nośność ram o węzłach nieprzesuwnych** można sprawdzać wg wzoru (Z4-5), jeśli spełnione są następujące warunki:  
- dla elementów zginanych i ściskanych

$$n \leq 1,7 - \beta - \bar{\lambda} \text{ i } n \leq 0,85 \quad (\text{Z4-6})$$

gdzie:

$n$  - względna siła podłużna od obciążeń obliczeniowych  $F$ :  $n = N(F)/N_R$ ,

$\beta$  - współczynnik momentu zginającego w tabl. 12,

$\bar{\lambda}$  - smukłość względna w płaszczyźnie zginania obliczona przy założeniu współczynnika długości wyboczeniowej  $\mu = 1$

- dla elementów ściskanych osiowo

$$n \leq \varphi \quad (\text{Z4-7})$$

gdzie:

$n$  - jak wyżej,

$\varphi$  - współczynnik wyboczeniowy dla największej smukłości pręta.

**5. Nośność ram o węzłach przesuwnych** i smukłości  $\bar{\lambda}_u \leq 0,6$  można sprawdzać wg wzoru

$$\frac{F}{\alpha_u \cdot F_{u,1}} \left( 1 + \alpha_u \cdot \bar{\lambda}_u^2 \right) \leq 1 \quad (\text{Z4-8})$$

gdzie:

$\bar{\lambda}_u$  - smukłość względna układu:  $\bar{\lambda}_u = \sqrt{F_{u,1} / F_{cr}}$

$F_{cr}$  - obciążenie krytyczne układu (w stanie bezmomentowym),

$\alpha_u, F_{u,1}$  - jak we wzorze (Z4-5).

Jeśli  $\bar{\lambda}_u > 0,6$ , to ramy w stanie sprężysto-plastycznym należy obliczać wg teorii II rzędu, uwzględniając stopniową redukcję ich sztywności w miarę powstawania przegubów plastycznych.

**6. Belki ciągle** o bisymetrycznym przekroju klasy 1, zabezpieczone przed zwichrzeniem, można projektować z uwzględnieniem plastycznej redystrybucji (wyrównania) momentów, obliczając ich ekstremalne wartości wg wzorów:

- przy obciążeniach równomiernie rozłożonych:  $g$ -stałym,  $q$ -zmiennym

$$M = C_g g l^2 + C_q q l^2 \quad (\text{Z4-9})$$

- przy obciążeniach skupionych:  $G$  - stałym,  $Q$  - zmiennym,

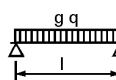
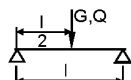
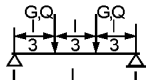
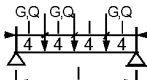
$$M = C_G G l + C_Q Q l \quad (\text{Z4-10})$$

gdzie  $C_g, C_q, C_G, C_Q$  - wg tabl. Z4-2.

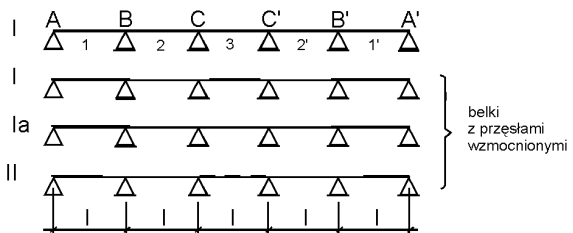
Współczynniki  $C$  można również przyjmować, gdy rozpiętość i ekstremalne obciążenia przęseł różnią się nie więcej niż o 10%, przy czym do obliczenia momentu podporowego należy przyjmować wartości średnie rozpiętości i obciążeń przyległych przęseł. Belki o liczbie przęseł większej niż 5 oblicza się analogicznie jak belki pięcioprzęsłowe, traktując wszystkie przęsła poza dwoma skrajnymi z obu stron jak przęsło środkowe (nr 3).



Tablica Z4-2

| Liczba<br>przęseł | Rodzaj<br>belki <sup>1)</sup> | Oznaczenie<br>momentów  |  |  |  |  |                                             |                                             |                                             |                                             |                                             |                                             |                                             |                                             |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                   |                               |                         | $C_g$                                                                             | $C_q$                                                                             | $C_G$                                                                               | $C_Q$                                                                               | $C_G$                                       | $C_Q$                                       | $C_G$                                       | $C_Q$                                       |                                             |                                             |                                             |                                             |
| 2                 | I                             | $M_1$<br>$M_B$          | 0,086<br>-0,086                                                                   | 0,105<br>-0,105                                                                   | 0,167<br>-0,167                                                                     | 0,198<br>-0,198                                                                     | 0,250<br>-0,250                             | 0,292<br>-0,292                             | 0,334<br>-0,334                             | 0,412<br>-0,412                             |                                             |                                             |                                             |                                             |
| 3                 | I                             | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$ | 0,086<br>-0,086<br>0,039                                                          | 0,106<br>-0,106<br>0,086                                                          | 0,167<br>-0,167<br>0,083                                                            | 0,200<br>-0,200<br>0,150                                                            | 0,250<br>-0,250<br>0,084                    | 0,295<br>-0,295<br>0,217                    | 0,334<br>-0,334<br>0,166                    | 0,417<br>-0,417<br>0,334                    |                                             |                                             |                                             |                                             |
|                   |                               | II                      | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$                                                           | 0,096<br>-0,063<br>0,063                                                          | 0,111<br>-0,096<br>0,096                                                            | 0,188<br>-0,125<br>0,125                                                            | 0,213<br>-0,175<br>0,175                    | 0,278<br>-0,167<br>0,167                    | 0,308<br>-0,256<br>0,256                    | 0,375<br>-0,250<br>0,250                    | 0,437<br>-0,375<br>0,375                    |                                             |                                             |                                             |
|                   |                               |                         | 4                                                                                 | I                                                                                 | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$                                                    | 0,086<br>-0,086<br>0,055<br>-0,055                                                  | 0,106<br>-0,106<br>0,094<br>-0,094          | 0,167<br>-0,167<br>0,111<br>-0,111          | 0,200<br>-0,200<br>0,169<br>-0,169          | 0,250<br>-0,250<br>0,150<br>-0,150          | 0,295<br>-0,295<br>0,253<br>-0,253          | 0,334<br>-0,334<br>0,222<br>-0,222          | 0,417<br>-0,417<br>0,367<br>-0,367          |                                             |
|                   | II                            |                         |                                                                                   |                                                                                   | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$                                                    | 0,096<br>-0,063<br>0,063<br>-0,063                                                  | 0,110<br>-0,097<br>0,097<br>-0,097          | 0,188<br>-0,125<br>0,125<br>-0,125          | 0,212<br>-0,177<br>0,177<br>-0,177          | 0,278<br>-0,167<br>0,167<br>-0,167          | 0,306<br>-0,260<br>0,260<br>-0,260          | 0,375<br>-0,250<br>0,250<br>-0,250          | 0,436<br>-0,380<br>0,380<br>-0,380          |                                             |
|                   |                               | 5                       |                                                                                   |                                                                                   | I                                                                                   | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$                                           | 0,086<br>-0,086<br>0,055<br>-0,055<br>0,070 | 0,106<br>-0,106<br>0,094<br>-0,094<br>0,102 | 0,167<br>-0,167<br>0,111<br>-0,111<br>0,139 | 0,200<br>-0,200<br>0,169<br>-0,169<br>0,189 | 0,250<br>-0,250<br>0,150<br>-0,150<br>0,184 | 0,295<br>-0,295<br>0,253<br>-0,253<br>0,272 | 0,334<br>-0,334<br>0,223<br>-0,223<br>0,277 | 0,417<br>-0,417<br>0,368<br>-0,368<br>0,401 |
|                   |                               |                         |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     | II                                                                                  | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,096<br>-0,063<br>0,063<br>-0,063<br>0,063 | 0,110<br>-0,097<br>0,097<br>-0,097<br>0,100 | 0,188<br>-0,125<br>0,125<br>-0,125<br>0,125 | 0,212<br>-0,177<br>0,177<br>-0,177<br>0,181 | 0,278<br>-0,167<br>0,167<br>-0,167<br>0,167 | 0,307<br>-0,260<br>0,260<br>-0,260<br>0,265 | 0,375<br>-0,250<br>0,250<br>-0,250<br>0,250 |
| Ia                |                               |                         |                                                                                   | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$                                         |                                                                                     |                                                                                     | 0,086<br>-0,086<br>0,051<br>-0,063<br>0,063 | 0,106<br>-0,106<br>0,092<br>-0,098<br>0,098 | 0,167<br>-0,167<br>0,146<br>-0,125<br>0,125 | 0,200<br>-0,200<br>0,164<br>-0,179<br>0,179 | 0,250<br>-0,250<br>0,139<br>-0,167<br>0,167 | 0,295<br>-0,295<br>0,246<br>-0,263<br>0,263 | 0,334<br>-0,334<br>0,209<br>-0,250<br>0,250 | 0,417<br>-0,417<br>0,360<br>-0,385<br>0,385 |
|                   | 6                             |                         |                                                                                   | I                                                                                 |                                                                                     |                                                                                     | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,086<br>-0,086<br>0,055<br>-0,055<br>0,070 | 0,106<br>-0,106<br>0,094<br>-0,094<br>0,102 | 0,167<br>-0,167<br>0,111<br>-0,111<br>0,139 | 0,200<br>-0,200<br>0,169<br>-0,169<br>0,189 | 0,250<br>-0,250<br>0,150<br>-0,150<br>0,184 | 0,295<br>-0,295<br>0,253<br>-0,253<br>0,272 | 0,334<br>-0,334<br>0,223<br>-0,223<br>0,277 |
|                   |                               |                         | II                                                                                |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,096<br>-0,063<br>0,063<br>-0,063<br>0,063 | 0,110<br>-0,097<br>0,097<br>-0,097<br>0,100 | 0,188<br>-0,125<br>0,125<br>-0,125<br>0,125 | 0,212<br>-0,177<br>0,177<br>-0,177<br>0,181 | 0,278<br>-0,167<br>0,167<br>-0,167<br>0,167 | 0,307<br>-0,260<br>0,260<br>-0,260<br>0,265 | 0,375<br>-0,250<br>0,250<br>-0,250<br>0,250 |
|                   |                               |                         |                                                                                   |                                                                                   | Ia                                                                                  |                                                                                     | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,086<br>-0,086<br>0,051<br>-0,063<br>0,063 | 0,106<br>-0,106<br>0,092<br>-0,098<br>0,098 | 0,167<br>-0,167<br>0,146<br>-0,125<br>0,125 | 0,200<br>-0,200<br>0,164<br>-0,179<br>0,179 | 0,250<br>-0,250<br>0,139<br>-0,167<br>0,167 | 0,295<br>-0,295<br>0,246<br>-0,263<br>0,263 | 0,334<br>-0,334<br>0,209<br>-0,250<br>0,250 |
|                   |                               |                         |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     | Ib                                                                                  | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,086<br>-0,086<br>0,055<br>-0,055<br>0,070 | 0,106<br>-0,106<br>0,094<br>-0,094<br>0,102 | 0,167<br>-0,167<br>0,111<br>-0,111<br>0,139 | 0,200<br>-0,200<br>0,169<br>-0,169<br>0,189 | 0,250<br>-0,250<br>0,150<br>-0,150<br>0,184 | 0,295<br>-0,295<br>0,253<br>-0,253<br>0,272 | 0,334<br>-0,334<br>0,223<br>-0,223<br>0,277 |
| IIb               |                               |                         |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,096<br>-0,063<br>0,063<br>-0,063<br>0,063 | 0,110<br>-0,097<br>0,097<br>-0,097<br>0,100 | 0,188<br>-0,125<br>0,125<br>-0,125<br>0,125 | 0,212<br>-0,177<br>0,177<br>-0,177<br>0,181 | 0,278<br>-0,167<br>0,167<br>-0,167<br>0,167 | 0,307<br>-0,260<br>0,260<br>-0,260<br>0,265 | 0,375<br>-0,250<br>0,250<br>-0,250<br>0,250 |
|                   |                               |                         |                                                                                   | Ic                                                                                |                                                                                     |                                                                                     | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,086<br>-0,086<br>0,055<br>-0,055<br>0,070 | 0,106<br>-0,106<br>0,094<br>-0,094<br>0,102 | 0,167<br>-0,167<br>0,111<br>-0,111<br>0,139 | 0,200<br>-0,200<br>0,169<br>-0,169<br>0,189 | 0,250<br>-0,250<br>0,150<br>-0,150<br>0,184 | 0,295<br>-0,295<br>0,253<br>-0,253<br>0,272 | 0,334<br>-0,334<br>0,223<br>-0,223<br>0,277 |
|                   |                               |                         | IIc                                                                               |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,096<br>-0,063<br>0,063<br>-0,063<br>0,063 | 0,110<br>-0,097<br>0,097<br>-0,097<br>0,100 | 0,188<br>-0,125<br>0,125<br>-0,125<br>0,125 | 0,212<br>-0,177<br>0,177<br>-0,177<br>0,181 | 0,278<br>-0,167<br>0,167<br>-0,167<br>0,167 | 0,307<br>-0,260<br>0,260<br>-0,260<br>0,265 | 0,375<br>-0,250<br>0,250<br>-0,250<br>0,250 |
|                   |                               |                         |                                                                                   |                                                                                   | Id                                                                                  |                                                                                     | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,086<br>-0,086<br>0,055<br>-0,055<br>0,070 | 0,106<br>-0,106<br>0,094<br>-0,094<br>0,102 | 0,167<br>-0,167<br>0,111<br>-0,111<br>0,139 | 0,200<br>-0,200<br>0,169<br>-0,169<br>0,189 | 0,250<br>-0,250<br>0,150<br>-0,150<br>0,184 | 0,295<br>-0,295<br>0,253<br>-0,253<br>0,272 | 0,334<br>-0,334<br>0,223<br>-0,223<br>0,277 |
|                   |                               |                         |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     | IIId                                                                                | $M_1$<br>$M_B$<br>$M_2$<br>$M_C$<br>$M_3$   | 0,096<br>-0,063<br>0,063<br>-0,063<br>0,063 | 0,110<br>-0,097<br>0,097<br>-0,097<br>0,100 | 0,188<br>-0,125<br>0,125<br>-0,125<br>0,125 | 0,212<br>-0,177<br>0,177<br>-0,177<br>0,181 | 0,278<br>-0,167<br>0,167<br>-0,167<br>0,167 | 0,307<br>-0,260<br>0,260<br>-0,260<br>0,265 | 0,375<br>-0,250<br>0,250<br>-0,250<br>0,250 |

1)



belki z przęsłami wzmocnionymi

ZAŁĄCZNIK 5

BELKI PODSUWNICOWE

1. Przedmiot

a) Przedmiotem niniejszego Załącznika są zasady obliczania i projektowania torów jezdnych dźwignic, w szczególności belek

podsuwnicowych suwnic pomostowych - natorowych i podwieszonych.

b) Poniższe postanowienia stanowią uzupełnienie ogólnie obowiązujących zasad i przepisów podanych w normie.

## 2. Obciążenia

a) Przy wymiarowaniu torów jezdnych (oraz ich konstrukcji wsporczych) należy uwzględniać:

- obciążenia związane z eksploatacją dźwignic,
- inne obciążenia bezpośrednie (stałe i zmienne),
- oddziaływania wewnętrzne (pośrednie) wynikające ze współpracy belki z konstrukcją wsporczą.

b) Obciążenia związane z eksploatacją dźwignic (technologiczne i inne) należy ustalać na podstawie charakterystyki dźwignicy - zgodnie z [PN-86/B-02005](#).

c) Obciążenie technologiczne pomostów remontowych i chodników należy przyjmować odpowiednio do wymagań szczegółowych, lecz nie mniejsze niż 1,5 kN/m<sup>2</sup>.

d) Jako obciążenie wielokrotnie zmienne torów jezdnych przyjmuje się obciążenia technologiczne od dźwignic (ruchowe); w przypadku dźwignic natorowych i podwieszonych - wyłącznie siły pionowe, natomiast w przypadku suwnic wspornikowych - siły pionowe i/lub poziome.

e) Obciążenie wyjątkowe (siłę uderzenia o odbój  $H_u$ ) przyjmuje wg danych producenta suwnicy lub ustala indywidualnie wg wzoru

$$H_u = \sqrt{m v_u^2 c}, \quad [N] \quad (Z5-1)$$

gdzie:

$m$  - masa (kg) przypadająca na odbój, wyznaczona z uwzględnieniem niesymetrycznego położenia środka masy względem odbojów; przy sztywnym podwieszeniu ładunku uwzględnia się całą masę ruchomą, natomiast przy podwieszeniu wiotkim - wyłącznie masę suwnicy;

$v_u$  - prędkość uderzenia [m/s], którą przyjmuje się w granicach od 0,5 ÷ 1,0 nominalnej prędkości jazdy suwnicy, zależnie od systemu hamowania - patrz PN-86/M-06514 - p. 4.3.1;

$c$  - sztywność sprowadzona [N/m]:  $c = 1/(1/c_1 + 1/c_2)$ , gdzie  $c_1$ ,  $c_2$  - stałe sprężynowe [N/m] zderzaka suwnicy i odboju; w przypadku tzw. odboju twardego:  $c = c_1$ .

## 3. Ugięcia i przemieszczenia graniczne

Jeżeli specjalne wymagania nie stanowią inaczej, to wartości graniczne ugięć i przemieszczeń należy przyjmować, jak następuje:

a) **ugięcia pionowe belek podsuwnicowych** (o rozpiętości 1):

1/400 - przy suwnicach o napędzie ręcznym i wciągnikach jednoszynowych,

1/500 - przy suwnicach o udźwigu do 50 Mg,

1/600 - przy suwnicach o udźwigu ponad 50 Mg;

b) **ugięcia poziome belek podsuwnicowych** (między podporami):

1/600 - przy suwnicach natorowych o napędzie ręcznym oraz przy dźwignicach podwieszonych,

1/1000 - w pozostałych przypadkach;

c) **przemieszczenia poziome podpór belek podsuwnicowych** (na poziomie jezdni):

- w kierunku poprzecznym do osi belki:

$h/500$  - w estakadach oraz w budynkach przy obudowie wrażliwej na pękanie,

$h/300$  - w budynkach przy obudowie niewrażliwej na pękanie,

przy czym w obu przypadkach wzajemne przemieszczenie podpór (zmiana prześwitu torów) nie powinno przekraczać 20 mm;

- w kierunku podłużnym:  $h/1000$ ,

gdzie  $h$  - poziom jezdni względem podstawy podpory (słupa).

## 4. Nośność belek (statyczna)

### 4.1. Uwaga ogólna

Przy wymiarowaniu belek, oprócz warunków sztywności (p. 3) i trwałości (p. 5) obowiązują podane w normie (patrz rozdziały 4 i 6) ogólne i lokalne warunki nośności elementów i połączeń, przy czym w obliczeniach nie uwzględnia się nadkrytycznej i plastycznej rezerwy nośności.

### 4.2. Belki suwnic natorowych

a) Belki suwnic natorowych można obliczać przy założeniu, że oddziaływania poziome suwnic ( $H_{\perp}$  i  $H_{\parallel}$ ) są przenoszone bez skręcania przez pas górny belki lub tężnik podłużny (z udziałem pasa górnego).

b) Jeżeli połączenie szyny z belką (patrz 6.3d) obliczono na działanie sił rozwarstwiających, to przy wyznaczaniu cech geometrycznych przekroju belki można uwzględniać przekrój szyny, zredukowany odpowiednio o 25% wysokości główki szyny lub wysokości szyny prostokątnej.

c) W przypadku belek dwuteowych (rys. Z5-1), z pasem ściskany o przekroju co najwyżej klasy 3, sprawdzenie nośności (stateczności ogólnej) można przeprowadzać wg wzorów:

- naprężenia w pasie górnym (1)

$$\frac{M_x}{\varphi_L W_{x(1)}} + \frac{M_y}{W_{y(1)}} \leq f_d \quad (Z5-2)$$

$$\frac{M_x}{\varphi_L W_{x(1)}} + \frac{N_1}{\varphi_{y1} A_1} \leq f_d \quad (Z5-3)$$

- naprężenia w pasie dolnym (2)

$$\frac{M_x}{\varphi_L W_{x(2)}} \leq f_d \quad (Z5-4)$$

W powyższych wzorach:

$M_x, M_y$  - momenty zginające: w płaszczyźnie środka belki oraz płaszczyźnie do niej prostopadłej;

$N_1$  - siła podłużna przypadająca na pas górny belki;

$W_{x(1)}, W_{x(2)}$  - wskaźniki wytrzymałości przekroju belki dla krawędzi pasa górnego i dolnego;

$W_{y(1)}$  - wskaźnik wytrzymałości przekroju pasa górnego belki lub tężnika pełnościennego;

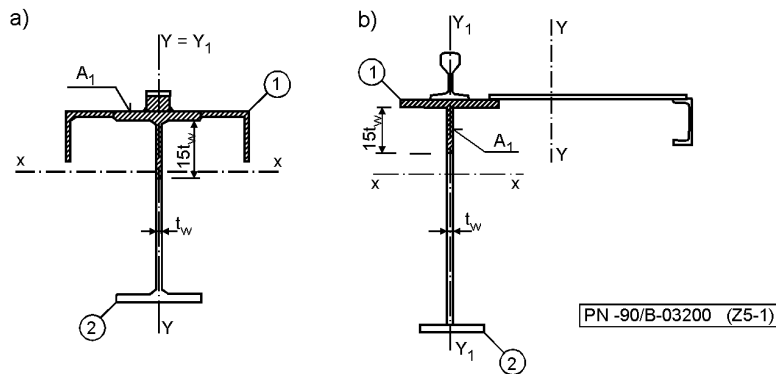
$A_1$  - obliczeniowe pole przekroju pasa górnego belki, z uwzględnieniem części środka o szerokości  $15 t_w$  i ewentualnie szyny (patrz poz. b));

$\varphi_L$  - współczynnik zwichrzenia - wg normy (4.5);

$\varphi_{y1}$  - współczynnik wyboczeniowy pasa górnego belki przy wyboczeniu giętym względem osi  $Y_1$  - wg normy (4.4); w przypadku tężnika pełnościennego przyjmuje się  $\varphi_{y1} = 1$ ;

$f_d$  - wytrzymałość obliczeniowa stali - wg normy (3.1.4).

Ponadto należy sprawdzić nośność (stateczność) środka belki pod obciążeniem skupionym oraz (gdy  $V \geq V_0$ ) nośność przekroju przy zginaniu ze ścinaniem - wg normy (4.5.5).



Rys. Z5-1

**4.3. Belki suwnic podwieszonych i wciągników** należy obliczać jako elementy dwukierunkowo zginane z uwzględnieniem zwichrzenia - wg normy (4.5.6) oraz jako elementy dwukierunkowo zginane z uwzględnieniem wpływu skręcania i lokalnego zginania pasa - wg wzorów:

- naprężenia w pasie górnym (1)

$$\frac{M_x}{W_{x(1)}} + \frac{M_y}{W_{y(1)}} + \frac{B \omega(1)}{I_\omega} \leq f_d \quad (Z5-5)$$

- naprężenia w pasie dolnym (2)

$$\frac{M_x}{W_{x(2)}} + \frac{M_y}{W_{y(2)}} + \frac{B \omega(2)}{I_\omega} \leq f_d \quad (Z5-6)$$

$$\frac{M_x}{W_{x(2)}} + \frac{1,4 P}{t_f^2} \leq f_d \quad (Z5-7)$$

W powyższych wzorach:

- $B$  - bimoment od obciążenia dźwignicą,
- $I_\omega$  - wycinkowy moment bezwładności - patrz tabl. Z1-1,
- $\omega$  - współrzędna wycinkowa,
- $P$  - siła skupiona przekazywana przez parę kół,
- $t_f$  - grubość pasa dolnego;

Pozostałe oznaczenia - analogiczne jak w 4.2.

## 5. Nośność belek ze względu na zmęczenie

### 5.1. Postanowienia ogólne

- a) Nośność belek ze względu na zmęczenie należy sprawdzać wg Załącznika 3, biorąc pod uwagę poniższe postanowienia.
- b) Grupy natężenia pracy dźwignic (klasy obciążenia i wykorzystania) należy przyjmować wg PN-91/M-06503.
- c) Szczegółowa ocena zmęczenia nie jest wymagana:
  - przy obciążeniu suwnicami grupy natężenia pracy nie wyższej niż A3, gdy w konstrukcji belek nie występują karby kategorii zmęczeniowej niższej niż  $\Delta\sigma_c = 57$  MPa,
  - przy obciążeniu suwnicami grupy natężenia pracy nie wyższej niż A4, gdy w konstrukcji belek nie występują karby kategorii zmęczeniowej niższej niż  $\Delta\sigma_c = 80$  MPa.
- d) Jeśli w specyfikacji technicznej nie określono inaczej, to okres eksploatacji torów jezdnych należy przyjmować nie krótszy niż 35 lat.

### 5.2. Widmo obciążenia belki podsuwnicowej

- a) Widmo obciążenia (grupę natężenia pracy belki) charakteryzuje się za pomocą współczynnika (klasy) obciążenia oraz maksymalnej liczby cykli obciążenia (klasy wykorzystania). Znormalizowane parametry widma odpowiadające określonym grupom natężenia pracy belek podano w tabl. Z5-1. Parametry widma można ustalać wg poz. b) i c) lub przyjmować na podstawie grupy natężenia pracy - wg poz. d).
- b) Współczynnik obciążenia belki  $K_b$  jest określony ogólnym wzorem

$$K_b = \sum \left[ \frac{N_i}{N_T} \left( \frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \right] \quad (Z5-8)$$

gdzie:  $P$  - nacisk koła suwnicy,

$N_i$  - liczba cykli obciążenia wywołującego nacisk  $P_i$ ,

$N_T$  - liczba cykli obciążenia w okresie eksploatacji belki.

Gdy brak jest szczegółowych danych eksploatacyjnych, to  $K_b$  można wyznaczać na podstawie współczynnika obciążenia suwnicy  $K_p$  - wg wzoru

$$K_b = 0,5 K_p \left( 1 + P_{\min} / P_{\max} \right) \quad (Z5-9)$$

- c) Klasę wykorzystania belki ( $H_0 \div H_9$ ) obciążonej jedną suwnicą można przyjmować na podstawie klasy wykorzystania suwnicy ( $U_0 \div U_9$ ), modyfikując liczbę cykli stosownie do okresu eksploatacji belki (w porównaniu z zakładanym 20-letnim okresem eksploatacji suwnicy) oraz do liczby cykli obciążenia przypadającej na jeden cykl pracy suwnicy. Gdy rozstaw kół suwnicy (lub osi zestawów kół) nie przekracza połowy rozpiętości belki, to można przyjąć, że na jeden cykl pracy przypada jeden cykl obciążenia. Przy większej liczbie suwnic, w obliczeniach uwzględnia się obciążenia od dwóch

najniekorzystniej oddziaływujących suwnic - patrz 5.4.

d) Gdy znana (ustalona) jest wyłącznie grupa natężenia pracy suwnicy ( $A(i)$ ), to zaleca się przyjmować (wg tabl. Z5-1) grupę natężenia pracy belki o jeden wyższą ( $B(i+1)$ ) oraz klasę wykorzystania ( $H$ ) odpowiadającą klasie obciążenia  $K4$ .

**5.3. Współczynnik niejednorodności widma naprężeń** można wyznaczać na podstawie współczynnika obciążenia belki  $K_b$ , przyjmując we wzorze (Z3-4):  $K = K_b$  oraz  $m = 3$ .

#### 5.4. Belki obciążone dwiema suwnicami

a) Belki obciążone dwiema suwnicami sprzężonymi należy traktować w obliczeniach analogicznie jak belki obciążone jedną suwnicą o zwiększonej liczbie kół.

b) W przypadku belek obciążonych dwiema suwnicami, które nie pracują jako sprzężone, oprócz warunków nośności dla poszczególnych suwnic należy dodatkowo spełnić warunek

$$\left(\frac{\Delta\sigma_{e1}}{\Delta\sigma_{R1}}\right)^3 + \left(\frac{\Delta\sigma_{e2}}{\Delta\sigma_{R2}}\right)^3 + \left(\frac{\Delta\sigma_{e1,2}}{\Delta\sigma_{R1,2}}\right)^3 \leq 1 \quad (Z5-10)$$

gdzie:

$\Delta\sigma_{e1}$ ,  $\Delta\sigma_{e2}$ ,  $\Delta\sigma_{e1,2}$ , oraz  $\Delta\sigma_{R1}$ ,  $\Delta\sigma_{R2}$ ,  $\Delta\sigma_{R1,2}$  - równoważne zakresy zmienności naprężeń oraz odpowiadające im (zależne od liczby cykli naprężeń) wartości wytrzymałości zmęczeniowej w rozpatrywanym punkcie belki, obciążonej odpowiednio suwnicą 1, suwnicą 2 oraz jednocześnie suwnicami 1 i 2;

$\Delta\sigma_{e1,2}$  należy wyznaczyć jak w przypadku sprzężenia suwnic; jeśli jednoczesne obciążenie belki dwiema suwnicami jest mało prawdopodobne (nie jest zdeterminowane procesem technologicznym), to można przyjąć  $\Delta\sigma_{e1,2} = 0$ .

### 6. Zalecenia konstrukcyjne

#### 6.1. Belki

a) Belki podsuwnicowe zaleca się projektować jako pełnościennie dwuteowe (walcowane lub spawane), a w uzasadnionych przypadkach - jako kratowe lub skrzynkowe.

b) W blachownicach pasy ze średnikiem powinny być połączone spoiną czołową lub dwustronną spoiną pachwinową o grubości nie mniejszej niż 4 mm.

c) Zależnie od obciążenia i rozpiętości, usztywnienie belki w kierunku poziomym uzyskuje się przez poszerzenie pasa ściskanego lub przez zastosowanie tężnika podłużnego - pełnościennego lub kratowego.

d) Połączenia belek na podporach powinny umożliwiać regulację (rektyfikację) jezdni podczas montażu i eksploatacji.

#### 6.2. Stężenia

a) Szerokość tężnika podłużnego powinna być nie mniejsza niż 1/15 rozpiętości belki. Kąt pochylenia (względem pionu) zastrzałów podpierających pas zewnętrzny tężnika nie powinien być większy niż 45°.

b) Środniki pełnościennych tężników podłużnych usztywnia się żebrami jednostronnymi przy smukłości ( $h/t$ ) większej niż 140 oraz w przypadkach uzasadnionych obliczeniowo.

c) Stężenia poprzeczne belek zaleca się stosować w odstępach nie większych niż 6 m.

#### 6.3. Szyny

a) Rodzaj szyny, typ oraz gatunek stali, przyjmuje się wg zaleceń producenta suwnicy.

b) Oś szyny powinna leżeć w płaszczyźnie symetrii belki lub środka belki.

c) Łączniki szyny z belką (łapki, śruby, nity, spoiny) rozmieszcza się po obu stronach szyny w odstępach nie większych niż 700 mm, przy czym zaleca się stosować śruby i nity o średnicy 16 ÷ 24 mm, a odcinki spoin co najmniej o długości 100 mm i grubości 4 mm.

d) Gdy w obliczeniach przekroju belki uwzględnia się przekrój szyny, to połączenie szyny z belką powinno być spawane spoinami ciągłymi, śrubowe ciernie lub nitowe. Połączenia spawane zaleca się stosować tylko do szyn prostokątnych dla suwnic grupy natężenia nie wyższej niż A4.

e) Styki odcinków szyn (ze szczeliną do 2 mm) rozmieszcza się w odległości nie mniejszej niż 600 mm od styków podporowych belki. Styki szyn w sąsiedztwie połączeń elementów montażowych zaleca się projektować jako ukośne (pod kątem 45°) z odpowiednimi ogranicznikami przemieszczeń bocznych.

#### 6.4. Kozły odbojowe

a) Kozły odbojowe instalowane na końcach torów jezdnych powinny mieć zdolność amortyzacji siły uderzenia suwnicy.

Tablica Z5-1

| Klasa obciążenia belki | Nominalna wartość współczynnika obciążenia belki $K_b$ | Klasa wykorzystania belki (max liczba cykli obciążeń) |                   |                   |                    |                   |                 |                 |                 |                 |                   |
|------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
|                        |                                                        | $H_0$                                                 | $H_1$             | $H_2$             | $H_3$              | $H_4$             | $H_5$           | $H_6$           | $H_7$           | $H_8$           | $H_9$             |
|                        |                                                        | $\leq 1,6 \times 10^4$                                | $3,2 \times 10^4$ | $6,3 \times 10^4$ | $1,25 \times 10^5$ | $2,5 \times 10^5$ | $5 \times 10^5$ | $1 \times 10^6$ | $2 \times 10^6$ | $4 \times 10^6$ | $> 4 \times 10^6$ |
|                        |                                                        | Grupa natężenia pracy belki                           |                   |                   |                    |                   |                 |                 |                 |                 |                   |
| K1                     | 0,125                                                  |                                                       |                   | B1                | B2                 | B3                | B4              | B5              | B6              | B7              | B8                |
| K2                     | 0,25                                                   |                                                       | B1                | B2                | B3                 | B4                | B5              | B6              | B7              | B8              | B9                |
| K3                     | 0,50                                                   | B1                                                    | B2                | B3                | B4                 | B5                | B6              | B7              | B8              | B9              |                   |
| K4                     | 1,0                                                    | B2                                                    | B3                | B4                | B5                 | B6                | B7              | B8              | B9              |                 |                   |

b) W przypadku odbojów twardych, w strefie rozciąganej połączenia kozła odbojowego z belką zaleca się stosować śruby długie ( $1 \geq 5d$ ) kl. 4.6 lub 5.6.

## INFORMACJE DODATKOWE

**1. Instytucja opracowująca normę** - Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Konstrukcji Metalowych MOSTOSTAL, Warszawa.

### 2. Istotne zmiany w stosunku do PN-80/B-03200

- zmieniono podział tematyczny normy, a także niektóre oznaczenia, dostosowując je do zaleceń ISO; wprowadzono pojęcie nośności obliczeniowej przekroju;
- wprowadzono klasyfikację przekrojów w aspekcie odporności elementów na miejscową utratę stateczności w stanie sprężystym i plastycznym;
- rozszerzono problematykę stateczności miejscowej o zagadnienie nośności elementów w stanie nadkrytycznym oraz stateczności środników pod obciążeniem skupionym;
- zmieniono zasady obliczania elementów osłabionych otworami, uzależniając ich nośność od gatunku stali i stopnia osłabienia przekroju;
- wprowadzono uogólnioną definicję smukłości względnej oraz cztery (zamiast jak dotąd jednej) krzywe niestateczności ogólnej;
- zmieniono warunki nośności elementów w złożonych stanach obciążenia, wprowadzono m.in. składnik poprawkowy (uwzględniający efekty II rzędu) przy sprawdzaniu stateczności elementów ściskanych i zginanych;
- rozszerzono postanowienia dotyczące stężeń układów konstrukcyjnych;
- podano zasady obliczania układów ramowych wg teorii II rzędu;
- wprowadzono klasyfikację połączeń śrubowych oraz podano szczegółowe zasady wymiarowania połączeń doczołowych na śruby o wysokiej wytrzymałości;
- nawiązując do przepisów międzynarodowych (ISO i ECCS) zmieniono ujęcie zagadnienia nośności konstrukcji ze względu na zmęczenie materiału;
- podano ogólne zasady obliczania konstrukcji z uwzględnieniem plastycznej rezerwy nośności.

### 3. Normy związane

[PN-64/B-01043](#) Rysunek konstrukcyjny budowlany. Konstrukcje stalowe

[PN-82/B-02000](#) Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości

[PN-86/B-02015](#) Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne środowiskowe. Obciążenie temperaturą

[PN-85/B-02170](#) Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki

[PN-90/B-03000](#) Projekty budowlane. Obliczenia statyczne

[PN-76/B-03001](#) Konstrukcje i podłoża budowli. Ogólne zasady obliczeń

[PN-85/B-03215](#) Konstrukcje stalowe. Zakotwienie słupów i kominów

PN-85/H-83152 Staliwo węglowe konstrukcyjne. Gatunki

PN-83/H-84017 Stal niskostopowa konstrukcyjna trudno rdzewiejąca. Gatunki

[PN-86/H-84018](#) Stal niskostopowa o podwyższonej wytrzymałości. Gatunki

[PN-88/H-84020](#) Stal niestopowa konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia. Gatunki

[PN-89/H-84023/07](#) Stal określonego zastosowania. Stal na rury. Gatunki

PN-75/M-69014 Spawanie łukowe elektrodami otulonymi stali węglowych i niskostopowych. Przygotowanie brzegów do spawania

PN-73/M-69015 Spawanie łukiem krytym stali węglowych i niskostopowych. Przygotowanie brzegów do spawania

PN-87/M-69772 Spawalnictwo. Klasyfikacja wadliwości złączy spawanych na podstawie radiogramów

PN-76/M-69774 Spawalnictwo. Cięcie gazowe stali węglowych o grubości 5 ÷ 100 mm. Jakość powierzchni cięcia

PN-71/M-80014 Druty stalowe gładkie do konstrukcji sprężonych

PN-68/M-80200 Liny stalowe. Podział i zasada budowy oznaczenia

PN-92/M-80201 Liny stalowe z drutu okrągłego. Wymagania i badania  
PN-71/M-80236 Liny do konstrukcji sprężonych  
PN-82/M-82054/03 Śruby, wkręty i nakrętki. Własności mechaniczne śrub i wkrętów  
PN-85/M-82101 Śruby ze łbem sześciokątnym  
PN-85/M-82105 Śruby z łbem sześciokątnym z gwintem na całej długości  
PN-79/M-82903 Nity. Wymagania i badania

#### **4. Normy międzynarodowe i zagraniczne**

ENV 1993-1-1:1992 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings (przednorma europejska)

ISO/DIS 10721 (1994): Steel structures - Materials and design (projekt normy międzynarodowej)

RFN DIN 18800:1990 Stahlbauten

Teil 1: Bemessung und Konstruktion

Teil 2: Stabilitätsfälle. Knicken von Stäben und Stahlwerke

Teil 3: Stabilitätsfälle. Plattenbeulen

Wielka Brytania BS 5950 Structural use of steelwork in building.

Part 1:1990 Code of practice for design in simple and continuous construction: hot rolled sections

#### **5. Autorzy projektu normy**

Zespół autorski:

przewodniczący prof. dr inż. Mieczysław Łubiński - Politechnika Warszawska, z-ca przewodniczącego prof. dr inż. Janusz Murzewski - Politechnika Krakowska, prof. dr inż. Jan Augustyn - Politechnika Częstochowska, prof. dr inż. Jan Bródka - Politechnika Łódzka, dr inż. Andrzej Czechowski - COBPKM MOSTOSTAL, dr inż. Marian Giżejowski - Politechnika Warszawska, prof. dr inż. Wiesław Jankowiak - Politechnika Poznańska, prof. dr inż. Zbigniew Kowal - Politechnika Świętokrzyska, dr inż. Jan Łaguna - COBPKM MOSTOSTAL.

Współpraca:

prof. dr inż. Władysław Bogucki; dr inż. Rafał Garncarek, dr inż. Aleksandra Kociatkiewicz, mgr inż. Michał Kwaśniewski - COBPKM MOSTOSTAL.

#### **6. Dokumenty międzynarodowe wykorzystane przy opracowaniu normy**

Eurocode Nr 3 (1988) Design of Steel Structures. Part 1 - General Rules and Rules for Buildings (projekt)

ISO/TC 167/SC1; N 219; N 220 Steel Structures - Materials and Design; Fatigue (dokumenty robocze).

Postanowienia tych dokumentów w maksymalnym stopniu wprowadzono do [PN-90/B-03200](#).

#### **7. Deskryptory**

0054768 konstrukcje budowlane; 0580417 konstrukcje metalowe; 0863732 konstrukcje łączone śrubami; 0580669 konstrukcje spawane; 0260740 projektowanie; 0000000 obliczenia statyczne.

#### **8. Wydanie 2** - stan aktualny: grudzień 1993 - wprowadzono zmiany:

zmiana 1 - Biuletyn PKNMiJ nr 10/1992,

zmiana 2 - Biuletyn PKNMiJ nr 13/1993. Treść zmiany nie publikowana. Wydaniem 1 nie należy się posługiwać.