

TRANSPORT SZYNOWY	NORMA BRANŻOWA	BN-71
	Sieć trakcyjna kolejowa Słupy żelbetowe	9317-91
	Obliczenia statyczne i projektowanie	Grupa katalogowa VI-77

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są obliczenia statyczne i zasady projektowania żelbetowych słupów stosowanych w sieci trakcyjnej kolejowej prądu stałego 3 kV.

1.2. Zakres stosowania normy. Normę należy stosować przy projektowaniu żelbetowych słupów przewidzianych do ustawienia w betonowym fundamencie, służących do mocowania sieci trakcyjnej.

1.3. Określenia

1.3.1. Klasa betonu - oznaczenie betonu określonej wytrzymałości normowej.

1.3.2. Wytrzymałość normowa betonu - wytrzymałość minimalna gwarantowana przez wykonawcę zgodnie z wymaganiami projektu.

1.3.3. Wytrzymałość obliczeniowa betonu - wytrzymałość przyjmowana do obliczeń konstrukcji dla warunków, kiedy konstrukcja ma przejąć pełne obciążenie przewidziane w projekcie.

1.3.4. Wytrzymałość normowa stali - wytrzymałość minimalna gwarantowana przez hutę. Za podstawę do określenia wytrzymałości normowej stali przyjmuje się:

- dla stali o wyraźnej granicy plastyczności - granicę plastyczności stali,
- dla stali o umownej granicy plastyczności - wytrzymałość stali na rozerwanie.

1.3.5. Klasa stali - oznaczenie walcowanej stali zbrojeniowej o określonej wytrzymałości normowej.

1.3.6. Określenie elementów sieci trakcyjnej kolejowej związanych z projektowaniem słupów trakcyjnych - wg BN-71/9317-89.

1.4. Normy związane

PN-69/B-03000 Projekty budowlane. Obliczenia statyczne

PN-57/B-03260 Konstrukcje żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie

PN-63/B-06250 Beton zwykły

PN-63/B-06251 Roboty betonowe i żelbetowe. Wymagania techniczne

PN-67/E-05100 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Przepisy budowy

PN-63/H-84021 Stal dla budownictwa. Gatunki
PN-69/H-93215 Walcówka i pręty zębowane ze stali klasy A-III do zbrojenia betonu
PN-70/H-93243 Walcówka i pręty ze stali klasy A-0, A-I i A-II do zbrojenia betonu
BN-71/9317-89 Sieć trakcyjna kolejowa. Stalowe konstrukcje wsporcze. Obliczenia statyczne i projektowanie

2. MATERIAŁY**2.1. Beton**

2.1.1. Materiały składowe i wykonanie betonu powinny odpowiadać wymaganiom PN-63/B-06250 i PN-63/B-06251.

2.1.2. Marka betonu. Do wykonywania słupów powinna być stosowana marka betonu minimum 250 przy użyciu cementu marki nie niższej niż 350.

2.1.3. Wytrzymałości obliczeniowe i współczynniki sprężystości dla poszczególnych klas betonu podano w tabl. 1.

2.1.4. Ciężar objętościowy betonu zbrojonego w obliczeniach statycznych należy przyjmować 2500 kg/m³ (250 MN/m³).

Tablica 1. Marki betonu wg PN-63/B-06250 oraz niektóre cechy wytrzymałościowe dla poszczególnych klas betonu

Marka betonu wg PN-63/B-06250	250	300	400
Wytrzymałość na ściskanie - słupowe R_s , kg/cm ²	175	200	260
Wytrzymałość przy zginaniu R_m , kg/cm ²	220	250	325
Klasa betonu	IV	Va	V
Wytrzymałość na ściskanie - słupowe R_{bc} , kg/cm ²	125	140	175
Wytrzymałość przy zginaniu R_b , kg/cm ²	155	175	220
Współczynnik sprężystości E_b , tys. kg/cm ²	305	320	360
Aby otrzymać naprężenia w MN/m ² należy odpowiednie wartości podane w tablicy podzielić przez 10.			

Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Kolejowego
Ustanowiona przez Ministra Komunikacji dnia 11 października 1971 r.
jako norma obowiązująca w zakresie projektowania od dnia 1 lipca 1972 r.
(Mon. Pol. nr 12/1972 poz. 85)

2.2. Stal

2.2.1. Rodzaje stali. Do zbrojenia słupów zaleca się stosować:

a) pręty i druty okrągłe gładkie, walcowane na gorąco, ze stali St0S o nieokreślonej granicy plastyczności i gwarantowanej spawalności oraz ze stali St3SX gwarantowanej minimalnej granicy plastyczności, gwarantowanej spawalności i zgrzewalności, lecz tylko dla prętów o średnicy do 25 mm, oraz pręty okrągłe gładkie, walcowane na gorąco, ze stali St3SY gwarantowanej minimalnej granicy plastyczności, gwarantowanej spawalności i zgrzewalności, lecz dla prętów o średnicy powyżej 25 mm;

b) pręty okrągłe żebrowane, walcowane na gorąco, ze stali 18G2 o gwarantowanej minimalnej granicy plastyczności, gwarantowanej zgrzewalności i spawalności oraz ze stali 34GS gwarantowanej minimalnej granicy plastyczności i gwarantowanej zgrzewalności oporowej, oraz ze stali 60GS gwarantowanej zgrzewalności oporowej.

Poza wymienionymi rodzajami stali do zbrojenia słupów mogą być stosowane również inne rodzaje stali na podstawie odpowiednich zarządzeń władz budowlanych.

Klasy stali, rodzaje i ich cechy wytrzymałościowe podano w tabl. 2.

2.2.2. Własności stali wymienionych w 2.1.1 powinny odpowiadać wymaganiom PN-63/H-84021.

2.2.3. Wybór klasy stali. Klasy stali należy stosować zgodnie z odpowiednimi instrukcjami, uwzględniając przeznaczenie i rodzaj zbrojenia, klasę betonu, spawalność lub zgrzewalność stali oraz warunki wykonania i montażu zbrojenia.

W konstrukcjach słupów należy stosować pręty ze stali klasy A-IV, A-III, A-II i A-I, a na strzemiona i pręty montażowe ze stali klasy A-I i A-O.

Średnice prętów należy przyjmować wg PN-69/H-93215 lub PN-70/H-93243.

3. OBCIĄŻENIA

3.1. Rodzaje obciążeń

3.1.1. Obciążenie normalne. Do obciążeń normalnych zalicza się:

a) ciężar własny słupa z wyposażeniem (ciężar wysięgników, izolatorów, ciężarów naprężających itp.);

b) ciężar sieci trakcyjnej, liny uszyniającej, przewodów wzmacniających z sadzią lub bez sadyi, przy czym obciążenia sadyi słupów, wysięgników i izolatorów nie uwzględnia się w obliczeniach;

c) parcie wiatru na sieć trakcyjną, linę uszyniającą i przewody wzmacniające;

d) siły składowe poziome od naciągu sieci trakcyjnej, liny uszyniającej i przewodów wzmacniających;

f) siły składowe pionowe od jednostronnego naciągu sieci trakcyjnej, liny uszyniającej i przewodów wzmacniających przy obliczaniu słupów kotwowych;

g) momenty spowodowane obrotem ruchomego wysięgnika sieci trakcyjnej o maksymalny kąt obrotu równy 12° ;

h) siły poziome od różnicy naciągów liny uszyniającej i przewodów wzmacniających w sąsiednich przesłach.

3.1.2. Obciążenie awaryjne. Słup środkowy i kotwienia środkowego należy obliczać na przypadek zerwania liny nośnej sieci trakcyjnej. Przy obliczaniu na zerwanie liny nośnej należy uwzględnić poza obciążeniem normalnym obciążenie naciągiem liny kotwienia środkowego działającym jednostronnie, przyjmując go równym naciągowi zastosowanemu

Tablica 2. Cechy wytrzymałościowe stali do konstrukcji słupów

Klasa stali	Rodzaj stali	Znak	Przy grubości nominalnej walcówki lub pręta mm	Granica plastyczności $R_e (Q_r)$ kg/cm ² min	Obliczeniowa granica plastyczności stali $R_e (Q_r)$ kg/cm ²	Wytrzymałość obliczeniowa	
						na rozciąganie R_m kg/cm ²	na ścisnięcie R_c kg/cm ²
A-O	węglowa zwykłej jakości, gładka	St0S	do 30	2000	2500	2100	2100
A-I	węglowa zwykłej jakości, gładka	St3SX St3SY	do 40 ¹⁾	2400	2500	2100	2100
A-II	węglowa zwykłej jakości, żebrowana	18G2	do 25	3600	3600	3000	3000
A-III	węglowa zwykłej jakości, żebrowana	34GS	do 18	4200	4200	3400	3400
			powyżej 18	4000	4000		
A-IV	węglowa zwykłej jakości, żebrowana	60GS	do 32	6000	6000	5100	3600

Aby otrzymać naprężenia w MN/m² należy odpowiednie wartości podane w tablicy podzielić przez 10.

¹⁾ Pręty przeznaczone do spawania o średnicy do 25 mm ze stali St3SX, o średnicy powyżej 25 mm - ze stali St3SY.

w linii nośnej. Działanie parcia wiatru w tym przypadku można pominąć.

3.1.3. Obciążenie montażowe. Słupy należy sprawdzić na warunki transportu i montażu.

3.2. Układy obciążeń

3.2.1. Obciążenia jednostkowe i wielkości raciągów sieci trakcyjnej, liny uszyniającej i przewodów wzmacniających wg BN-71/9317-89.

3.2.2. Miejsca przyłożenia sił działających na słup - wg BN-71/9317-89.

3.3. Warunki klimatyczne

3.3.1. Obciążenie wiatrem

3.3.1.1. Strefy klimatyczne - podział Polski na strefy klimatyczne należy przyjąć wg PN-67/E-05100.

3.3.1.2. Zasady ogólne. Obciążenie wiatrem należy (przyjmując prostopadle do rzutu powierzchni nawiętrzonej) obliczać w kg wg wzoru

$$W = \alpha \cdot K \cdot p \cdot A \quad (1)$$

w którym:

- α - współczynnik nierównomierności parcia wiatru wg tabl. 3,
- K - współczynnik opływu wg tabl. 3,
- p - obciążenie podstawowe wg tabl. 3,
- A - rzut powierzchni od strony nawiętrzonej na płaszczyznę prostopadłą do kierunku wiatru.

3.3.1.3. Obciążenie podstawowe wiatrem. Obciążenie podstawowe wiatrem i współczynnik nierównomierności parcia wiatru dla różnych stref klimatycznych, w zależności od odległości pionowej słupa od terenu, powinny odpowiadać wielkościom podanym w tabl. 3.

3.3.1.4. Współczynnik opływu. Wartość współczynnika opływu K dla słupów o przekroju kwadratowym lub prostokątnym należy przyjąć wg tabl. 3.

Tablica 3. Obciążenie podstawowe, współczynnik nierównomierności parcia wiatru i współczynnik opływu

Odległość pionowa słupa od terenu m	Strefa nizinna I		Strefa nadmorska II i górską III		Współczynnik opływu K
	obciążenie podstawowe p kg/m ²	współczynnik nierównomierności α	obciążenie podstawowe p kg/m ²	współczynnik nierównomierności α	
0 ÷ 16	55	1,0	65	1,0	1,4
16 ÷ 40	70	1,0	90	1,0	

Słupy ustawione w odległości nie większej niż 20 m od urwistego zbocza góry lub na nasypie należy obliczać na obciążenie wiatrem odpowiadające odległości mierzonej od podstawy urwiska góry lub podstawy nasypu.

3.3.2. Obciążenie sadią. W obliczeniach nie należy uwzględniać ciężaru sadii występującej na słupach, wysięgnikach, izolatorach i innych częściach wyposażenia z wyjątkiem przewodów, których obciążenie sadią powinno odpowiadać wielkościom podanym w BN-71/9317-89.

3.4. Wielkości obciążeń użytkowych. Dla zasadniczych typów sieci trakcyjnej kolejowej, liny uszyniającej i przewodów wzmacniających, wielkości obciążeń należy przyjmować wg BN-71/9317-89.

3.5. Wielkość obciążeń w obliczeniach statycznych. Przy obliczaniu słupów należy przyjmować obciążenia działające w najniekorzystniejszym lecz możliwym układzie występującym w normalnych warunkach eksploatacji lub awaryjnych oraz transportu i montażu.

4. PEWNOŚĆ KONSTRUKCJI

4.1. Wymagania podstawowe. Istnienie żadanego zapasu pewności w wytrzymałości konstrukcji słupów należy udokumentować obliczeniami.

4.2. Współczynnik pewności. Przy obliczaniu słupów należy przyjmować współczynniki pewności wg tabl. 4.

Tablica 4. Współczynnik pewności S i S_1

Lp.	Rodzaj naprężeń	Współczynnik pewności	Wartość współczynnika pewności
1	dla słupów ściskanych mi-mi-rodowo	S	1,6
2	dla słupów zginanych	S	1,5
3	ściananie, naprężenia główne i przyczepność	S_1	1,8
4	przy sprawdzeniu na warunki transportu	S	1,5
5	przy obliczaniu na obciążenie awaryjne	S	1,35

5. ZASADY WYMIAROWANIA

5.1. Założenia podstawowe

5.1.1. Obliczenia należy wykonać zgodnie z wymaganiami PN-69/B-03000 oraz PN-57/B-03260, jeśli norma niniejsza nie postanawia inaczej. Obliczenia statyczne i wytrzymałościowe według założeń innych niż podano w niniejszej normie mogą być stosowane pod warunkiem należytego uzasadnienia naukowego i gospodarczego.

5.1.2. Dokładność wymiarowania. Przekrój przyjętego zbrojenia może być mniejszy od obliczonego najwyżej o 2,5%.

5.1.3. Metoda wymiarowania słupów powinna odpowiadać wymaganiom PN-57/B-03260.

5.1.4. Minimalny procent zbrojenia rozciąganego odniesiony do przekroju użytkowego $b h_1$ (rys. 1) powinien być większy od wartości podanych w tabl. 5.

Tablica 5. Minimalny procent zbrojenia rozciągającego

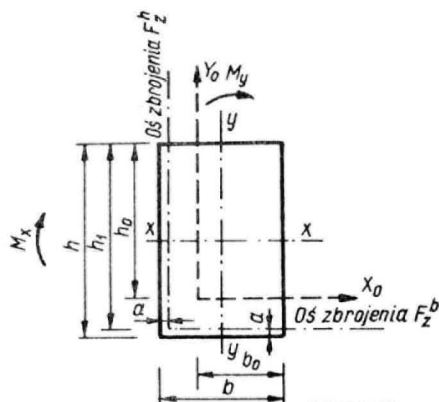
Marka betonu	250	300	400
Minimalny procent zbrojenia	0,17	0,20	0,23

Wartości podane w tabl. 5 dotyczą zbrojenia ze stali klasy A-I. Dla innych klas stali wartości te zmniejszyć należy w stosunku do obliczeniowych wytrzymałości stali klasy A-I i stali klasy stosowanej.

Słupy osiowo i mimośrodowo ściskane należy uważać za żelbetowe, jeżeli całkowity przekrój zbrojenia wynosi nie mniej niż 0,4% przekroju użytecznego, przy czym procent zbrojenia rozciągającego może być mniejszy niż podano w tabl. 5, a procent zbrojenia ściskanego nie mniejszy niż 0,2.

5.2. Słupy ukośnie zginane o przekroju prostokątnym

5.2.1. Określenie nośności. Słupy o przekroju prostokątnym podlegające równoczesnemu działaniu momentów zginających w kierunku dwóch głównych osi X_0 i Y_0 przechodzących przez środek ciężkości zbrojenia rozciągającego równoległe do głównych osi przekroju (rys. 1) oblicza się wg następującego sposobu:



Rys. 1

a) określenie położenia środka ciężkości ζ zbrojenia rozciągającego

$$\zeta = \frac{1}{\frac{M_x}{1 + M_y} \cdot \frac{b - 2a}{h - 2a}} \quad (2)$$

oraz odległości b_0 i h_0 (rys. 1)

$$b_0 = \frac{b}{2} + \left(\frac{b}{2} - a \right) \quad (3)$$

$$h_0 = \frac{h}{2} + \left(\frac{h}{2} - a \right) \quad (4)$$

b) obliczenie wartości zredukowanych momentów m_x i m_y względem osi X_0 i Y_0 (z pominięciem zbrojenia ściskanego)

$$m_x = \frac{S \cdot M_x}{b_0 \cdot h_0^2 \cdot R_m} \quad (5)$$

$$m_y = \frac{S \cdot M_y}{h_0 \cdot b_0^2 \cdot R_m} \quad (6)$$

c) obliczenie zredukowanej powierzchni ściskanej betonu f ze wzoru

$$f^3 - 4,5f^2 + 4,5f(m_x + m_y) - 4,5m_x - m_y = 0 \quad (7)$$

d) ilość zbrojenia rozciągającego F_z

$$F_z = \frac{f \cdot b_0 \cdot h_0 \cdot R_m}{R_c} \quad (8)$$

Otrzymaną ilość zbrojenia F_z rozmieszczamy w strefie rozciąganej wzdłuż dwóch boków przekroju w stosunku

$$F_z^h = \zeta \cdot F_z \quad (9)$$

$$F_z^b = (1 - \zeta) \cdot F_z \quad (10)$$

Zbrojenie to rozmieszczamy w zależności od strefy ściskanej betonu.

Rozmieszczenia zbrojenia i zasięg strefy ściskanej betonu podano w tabl. 6 na str. 5.

5.2.2. Sprawdzenie współczynnika bezpieczeństwa. Współczynnik bezpieczeństwa S dla słupów o przekroju prostokątnym, podlegających równoczesnemu działaniu momentów zginających w płaszczyznach obu osi symetrii przekroju, sprawdza się wg wzoru

$$S \leq \frac{F_z \cdot R_c \cdot Z}{M_w} \quad (11)$$

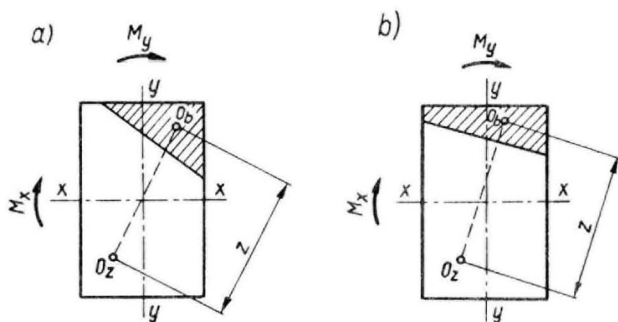
w którym:

F_z - przyjęta ilość zbrojenia rozciągającego obliczonego ze wzoru (8),

R_c - granica plastyczności stali wg tabl. 2,

Z - ramię sił wewnętrznych dla strefy ściskanej trójkątnej (rys. 2a) i trapezowej (rys. 2b), przy czym przez O_z oznaczono środek ciężkości przyjętego zbrojenia F_z , przez O_b oznaczono środek ciężkości ściskanej strefy betonu (zbrojenia znajdujące się w strefie ściskanej pomija się),

M_w - moment wypadkowy, $M_w = M_x^2 + M_y^2$ przy oznaczeniu przez M_x i M_y momentów zginających działających w płaszczyznach osi symetrii przekroju.



Rys. 2

9317-91-2

Tablica 6. Rozmieszczenie zbrojenia i zasięg strefy ściskanej

Lp.	Kształt strefy	Wymiary boków strefy ściskanej betonu i rozmieszczenia zbrojenia	
		rysunek	wzory
1	Trójkąt dla $m_x \geq m_y$ i $m_x < m_y$		$r = 3h_0 \left(1 - \frac{m_y}{f}\right)$ $n = 3b_0 \left(1 - \frac{m_y}{f}\right)$ dla $n > b$ lub $r > h$ kształt strefy ściskanej betonu będzie trapezowy
2	Trapez dla $m_x \geq m_y$		$b = \frac{2h_0}{(1+\delta)^2} \left[-3m_y + f(2-\delta)\right]$ $p = \frac{2h_0}{(1+\delta)^2} \left[3m_y - f(1-2\delta)\right]$ $S_x = \delta_x = \frac{b-h_0}{b_0}$
3	Trapez dla $m_x \leq m_y$		$l = \frac{2b_0}{(1+\delta)^2} \left[-3m_x + f(2-\delta)\right]$ $p = \frac{2b_0}{(1+\delta)^2} \left[3m_x - f(1-2\delta)\right]$ $S = \delta S_y = \frac{h-h_0}{h_0}$

5.2.3. Rozwarcie rys. Szerokość rozwarcia rys a_f prostopadłych od osi słupa zginanego bez udziału siły podłużnej oblicza się ze wzoru

$$a_f \frac{d}{10000\mu} \cdot x \cdot \eta_f \quad (12)$$

w którym:

d - średnica pręta (przy zastosowaniu różnych średnic), $d = d_{sr} = \frac{\sum n_i \cdot d_i}{n_i}$,

n_i - ilość prętów wzdłuż jednego boku,

d_i - średnice prętów,

μ - procent zbrojenia przekroju, $\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_1}$

x - współczynnik wg tabl. 7 zależny od parametrów:

$$L = \frac{M}{2b \cdot h_1^2 \cdot R_b} \quad \text{I} \quad \mu \cdot n = \frac{F_a}{b \cdot h_1} \cdot \frac{E_z}{E_b}$$

η_f - współczynnik wyrażający wpływ rodzaju zbrojenia rozciąganego:

- dla prętów gładkich $\eta_f = 1,0$,

- dla prętów żebrowanych $\eta_f = 0,7$,

F_a - przekrój zbrojenia rozciąganego znajdującego się wzdłuż jednego boku,

E_b - współczynnik sprężystości betonu wg tabl.1,

R_b - wytrzymałość betonu na ściskanie przy zginaniu dla poszczególnych klas betonu wg tabl. 1,

E_z - współczynnik sprężystości stali równy $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ($2,1 \cdot 10^5 \text{ MN/m}^2$).

Dopuszczalną szerokość rozwarcia rys prostopadłych do osi słupa przyjmuje się:

$$a_f \leq 0,2 \text{ mm}$$

Tablica 7. Wartości współczynnika x

L	$\mu \cdot \eta$					
	0,02	0,04	0,07	0,10	0,15	0,20
0,04	1,39	0,72	0,42	0,29	0,18	0,13
0,06	2,36	1,28	0,76	0,55	0,37	0,26
0,08	3,14	1,70	1,06	0,79	0,55	0,41
0,10	3,89	2,09	1,30	0,97	0,70	0,56
0,15	5,76	3,07	1,89	1,42	1,02	0,81
0,20	7,60	4,01	2,48	1,82	1,32	1,04

Sprawdzenie szerokości rozwarcia rys prostokątnych do osi słupa jest zbędne, jeżeli średnia d zbrojenia podłużnego spełnia warunek

$$d \leq 2(1000\mu + 1) \quad (13)$$

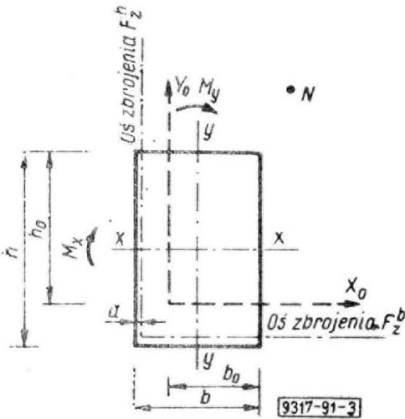
Dla słupów obciążonych momentami w płaszczyźnie dwóch głównych osi przekroju X i Y , szerokość rozwarcia rys należy obliczać oddzielnie dla M_x i M_y i sumę tych szerokości porównać z wartością dopuszczalną a_f

$$a_f^x + a_f^y \leq a_f$$

pręt narożny w tym przypadku liczony jest dwukrotnie.

5.3. Słupy ukośnie mimośrodowo ściskane o przekroju prostokątnym

5.3.1. Określenie nośności. Słupy o przekroju prostokątnym podlegające równoczesnemu działaniu siły podłużnej i momentów zginających w kierunku dwóch głównych osi (rys. 3) oblicza się wg następującego sposobu:



rys. 3

a) określenie położenia środka ciężkości ζ zbrojenia rozciągającego; ζ , b_0 i h_0 - wg wzorów (1), (2) i (3),

b) obliczenie wartości mimośródów e_x i e_y siły podłużnej N względem osi X_0 i Y_0 przechodzących przez środek ciężkości zbrojenia rozciągającego

$$e_x = \frac{M_y}{N} \cdot m + b_0 - \frac{b}{2} \quad (14)$$

$$e_y = \frac{M_x}{N} \cdot m + h_0 - \frac{h}{2} \quad (15)$$

gdzie m - współczynnik zwiększający mimośród początkowy (względem głównych osi przekroju), odpowiednio do wielkości ugięcia obliczony wg wzoru (19);

c) obliczenie wartości zredukowanych momentów M_x i M_y od siły podłużnej N względem osi X_0 i Y_0 (z pominięciem zbrojenia ściskanego)

$$M_x = \frac{S \cdot N \cdot e_y}{b_0 \cdot h_0^2 \cdot R_m} \quad (16)$$

$$M_y = \frac{S \cdot N \cdot e_x}{h_0 \cdot b_0^2 \cdot R_m} \quad (17)$$

d) obliczenie zredukowanej powierzchni betonu f ze wzoru (7);

e) ilość zbrojenia rozciągającego

$$F_z = \frac{f \cdot b_0 \cdot h_0 \cdot R_m \cdot S \cdot N}{R_c} \quad (18)$$

Obliczana ilość zbrojenia rozciągającego F_z ze wzoru (18) nie powinna być mniejsza od wielkości obliczonej jak dla słupa zginanego wg wzorów (2+10).

Otrzymaną ilość zbrojenia F_z rozmieszczamy w strefie rozciąganej wzdłuż dwóch boków przekroju wg wzorów (9) i (10).

Rozmieszczenie zbrojenia i zasięg strefy ściskanej betonu określa tabl. 6.

5.3.2. Przypadki ukośnie mimośrodowo ściskania. W zależności od wielkości mimośródów rozróżnia się następujące przypadki ukośnego ściskania:

a) Przypadek I, kiedy wartość mimośródów e_x i e_y określonych wg wzorów (14) i (15) jest mniejsza od 3,5-krotnej wysokości zredukowanej przekroju

$$e_x < 3,5 b_0$$

$$e_y < 3,5 h_0$$

Słupy należy obliczać jako ściskane mimośrodowo wg 5.3.1.

b) Przypadek II, kiedy wartość mimośródów określonych wg wzorów (14) i (15) jest równa lub większa od 3,5-krotnej wysokości zredukowanej przekroju

$$e_x \geq 3,5 b_0$$

$$e_y \geq 3,5 h_0$$

Słupy należy obliczać jak ukośnie zginane wg 5.2.1.

o) Przypadek III, jeżeli tylko jeden z mimośródów jest mniejszy od 3,5-krotnej wysokości zredukowanej przekroju

$$e_x < 3,5 b_0 \quad \text{lub} \quad e_x \geq 3,5 b_0$$

$$e_y \geq 3,5 h_0 \quad \text{lub} \quad e_y < 3,5 h_0$$

wówczas wartości zredukowanych momentów m_x i m_y należy obliczać odpowiednio jak dla zginania lub ściskania, a ilość zbrojenia rozciągającego F_z obliczać z pominięciem działania siły podłużnej N wg wzoru (8).

5.3.3. Wpływ smukłości. Jeżeli w płaszczyźnie działania momentu smukłość $L_0/h > 10$, należy uwzględnić wpływ zwiększenia mimośrodu początkowego $e_0 = \frac{M}{N}$ o rzeczywistą wartość przyrostu ugięcia.

Przyrost ugięcia można obliczyć mnożąc mimośród początkowy e_0 przez współczynnik m przyjmowany wg wzorów przybliżonych

$$m = \frac{1}{1 + \frac{1}{400} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2} \quad (19)$$

$$\text{gdzie } n_1 = \frac{S \cdot N}{R_m \cdot F_b}$$

Niezależnie od tego przekrój słupa powinien być sprawdzony na stateczność w płaszczyznach działania momentów przy założeniu ściskania osiowego wg wzoru

$$N_p \leq \varphi (R_{bc} \cdot F_b + R_{ac} \cdot F_{ac}) \quad (20)$$

w którym:

- N_p - wprowadzona siła podłużna, $N_p = \frac{N}{m_d}$,
 N - rzeczywista siła podłużna,
 m_d - współczynnik, którego wartości podano w tabl. 8,
 φ - współczynnik wyrażający wpływ smukłości na nośność słupa, którego wartości podano w tabl. 9,
 F_b - powierzchnia przekroju betonu,
 R_{bc} - wg tabl. 1,
 F_{ac} - całkowity przekrój ściskanego zbrojenia podłużnego,
 R_{ac} - wytrzymałość obliczeniowa stali na ściskanie wg tabl. 2.

Tablica 8. Wartości współczynnika m_d

l_0/i	l_0/h	l_0/D	m_d	l_0/i	l_0/h	l_0/D	m_d
35	10	8,5	1,00	90	26	22,5	0,70
42	12	10,5	0,97	97	27	24	0,67
49	14	12	0,93	104	30	26	0,63
56	16	14	0,89	111	32	28	0,59
63	18	15,5	0,85	118	34	29,5	0,55
79	20	17	0,81	125	36	31	0,52
76	22	19	0,78	132	38	33	0,48
83	24	21	0,74	139	40	34,5	0,45

Tablica 9. Wartości współczynnika dla słupów żelbetowych ściskanych osiowo

l_0/i	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
φ	0,00	0,97	0,93	0,89	0,85	0,81	0,77	0,73	0,68	0,64
l_0/i	30	32	34	36	38	40	-	-	-	-
φ	0,59	0,54	0,49	0,44	0,40	0,35	-	-	-	-

Długość obliczeniową l_0 przyjmować należy odpowiednio do występujących warunków podparcia słupa, mnożąc rzeczywistą długość przez współczynnik φ .

Jako rzeczywistą długość dla słupów kotwowych należy przyjąć odległość od miejsca zamocowania odciągu do wierzchu fundamentu.

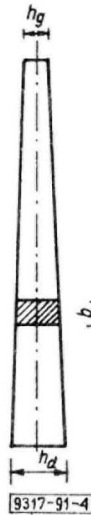
Współczynnik φ należy przyjmować:

a) przy całkowitym zamocowaniu jednego końca i przegubowym zamocowaniu drugiego

$$\varphi = 1,0$$

b) przy całkowitym zamocowaniu jednego końca i drugim swobodnym

$$\varphi = 2,0$$



Rys. 4

Zaleca się, aby smukłość słupów o przekroju prostokątnym nie przekraczała wartości $l_0/h = 40$.

Dla słupa o stałej szerokości b i liniowo zbieżnej grubości h (wysokość przekroju) do wzorów (19) i (20) dopuszcza się przyjęcie zastępczej wysokości $h = h_d \cdot \xi$ (rys. 4).
 h_d - wysokość przekroju słupa przy podstawie,
 ξ - współczynnik zależny od zbieżności słupa (stosunku h_g/h_d) wg tabl. 10,
 h_g - wysokość przekroju słupa w poziomie przyłożenia siły podłużnej (miejsce zamocowania odciągu na słupie).

Tablica 10. Wartości współczynnika ξ

h_g/h_d	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
ξ	1,00	0,97	0,94	0,91	0,87	0,83	0,78	0,72	0,65	0,55

Wartości pośrednie należy interpolować liniowo.

5.3.4. Sprawdzenie współczynnika bezpieczeństwa. Współczynnik bezpieczeństwa S dla słupów o przekroju prostokątnym podlegających równoczesnemu działaniu siły podłużnej i momentów zginających w płaszczyznach obu osi symetrii przekroju, sprawdzić można wg 5.2.2 (z pominięciem siły podłużnej) oraz dodatkowo należy sprawdzić wg wzoru (21)

$$S \leq \frac{E_z \cdot R_c \cdot Z}{M_w - \frac{N \cdot Z}{2}} \quad (21)$$

w którym N - wartość rzeczywistej siły podłużnej działającej na słup.

Pozostałe oznaczenia jak w 5.2.2.

5.3.5. Rozwarcie rys prostopadłych do osi słupa obliczać należy wg 5.2.3 bez udziału siły podłużnej.

5.3.6. Dopuszczalne ugięcie słupa. Obliczona metodą ogólnie stosowaną strzałka ugięcia słupa przy obciążeniu normalnym nie powinna przekraczać:

- 6 cm w poziomie podwieszenia przewodów jezdnych sieci trakcyjnej;
- 2% całkowitej długości słupa.

5.4. Określenie nośności słupów metodą uproszczoną

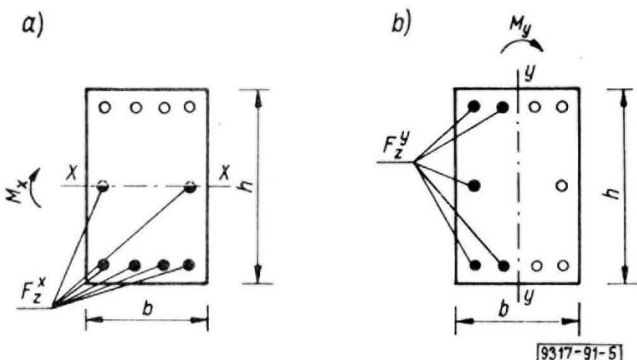
5.4.1. Słupy ukośnie zginane o przekroju prostokątnym i dwuteowym. Słupy ukośnie zginane o przekroju prostokątnym lub dwuteowym, lecz o grubości półek większej od 8 cm, należy sprawdzać bez uwzględnienia wpływu sił podłużnych wg następującej metody

$$\frac{1}{S_x} + \frac{1}{S_y} \leq \frac{1,25}{S} \quad (22)$$

gdzie: S_x i S_y - współczynniki pewności przy działaniu momentów składowych M_x i M_y , przy czym S_x i S_y z osobna nie powinny być mniejsze od S wg 4.2.

Współczynniki bezpieczeństwa S_x i S_y można wyznaczać ze wzorów:

a) Dla przekroju prostokątnego

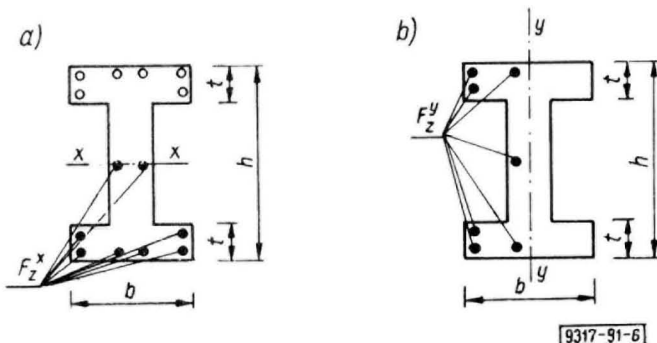


Rys. 5

$$S_x = \frac{F_z^x \cdot R_c (h - 2a) + 0,5 \cdot b \cdot R_m \cdot a^2}{M_x} \quad (23)$$

$$S_y = \frac{F_z^y \cdot R_c (b - 2a) + 0,5 h \cdot R_m \cdot a^2}{M_y} \quad (24)$$

b) Dla przekroju dwuteowego



Rys. 6

$$S_x = \frac{F_z^x \cdot R_c (h - 2a) + 0,5 \cdot b \cdot R_m \cdot a^2}{M_x} \quad (25)$$

$$S_y = \frac{F_z^y \cdot R_c (b - 2a) + t \cdot R_m \cdot a^2}{M_y} \quad (26)$$

w których:

a - odległość środka ciężkości zbrojenia F_x lub F_y od krawędzi słupa, przy czym $a < t$,

F_z^x i F_z^y - powierzchnia przekroju zbrojenia po jednej stronie osi obojętnej.

Pręty w narożach w tym przypadku liczone są dwukrotnie. Jeżeli pręty znajdują się w osi obojętnej, można uwzględnić połowę powierzchni tych prętów (rys. 5 a, b i 6 a, b).

5.4.2. Słupy ukośnie mimośrodowo ściskane o przekroju prostokątnym i dwuteowym. Słupy ukośnie mimośrodowo ściskane o przekroju prostokątnym lub dwuteowym, lecz o grubości pólki większej od 8 cm należy sprawdzać wg następującej metody

$$\frac{1}{S_x} + \frac{1}{S_y} - \frac{1}{S_o} \leq \frac{1,25}{S} \quad (27)$$

gdzie:

S_x i S_y - współczynniki pewności przy działaniu siły podłużnej N i momentów składowych M_x i M_y , przy czym S_x i S_y z osobna nie powinny być mniejsze od S wg 4.2,

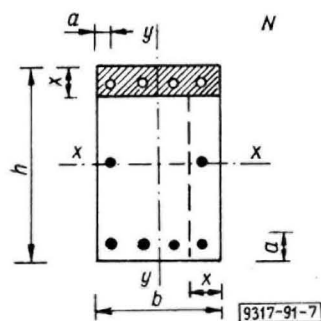
S_o - współczynnik pewności przy działaniu siły podłużnej przyłożonej osiowo obliczony wg wzoru,

$$S_o = \frac{F_b \cdot R_s + F_z \cdot R_c}{N}$$

F_z - całkowity przekrój zbrojenia podłużnego.

Współczynniki bezpieczeństwa S_x i S_y należy wyznaczać wg następujących wzorów podstawowych:

a) Dla przekroju prostokątnego (rys. 7, e_z^x i e_z^y - odległości miejsca przyłożenia siły podłużnej N od środków ciężkości zbrojenia rozciąganego)



Rys. 7

$$e_z^x = \frac{M_y}{N} m + \frac{b - 2a}{2} \quad (28)$$

$$e_z^y = \frac{M_x}{N} m + \frac{b - 2a}{2} \quad (29)$$

gdzie:

m - współczynnik wg wzoru (19),

a - odległość środka ciężkości zbrojenia F_z^x lub F_z^y od krawędzi słupa,

F_z - powierzchnia przekroju zbrojenia po jednej stronie osi obojętnej.

Dla symetrycznego zbrojenia wysokość ściskanej strefy betonu X wyznaczyć można ze wzoru

$$X = (h_1 - e_z) + \sqrt{(h_1 - e_z)^2 + \frac{2F_z \cdot R_c (h_1 - a)}{b \cdot R_m}} \quad (30)$$

W zależności od wartości X rozróżniamy 3 przypadki wielkości ściskanej strefy betonu.

- Przypadek I, jeżeli $X < 2a$

$$\text{wówczas } M = \frac{1}{m} \left[\frac{F_z \cdot R_e (h_1 - a)}{S} + \frac{N}{2} (h_1 - a) \right] \quad (31)$$

$$1 \quad S = \frac{F_z \cdot R_e \cdot h_1 - a}{M \cdot m - \frac{N}{2} (h_1 - a)} \quad (32)$$

- Przypadek II, jeżeli $0,55 h_1 \geq X \geq 2a$

$$M = \frac{1}{m} \left[\frac{N}{2} \left(h - \frac{S \cdot N}{b \cdot R_m} \right) + \frac{F_z \cdot R_e (h_1 - a)}{S} \right] \quad (33)$$

$$S = \frac{X \cdot b \cdot R_m}{N} \quad (34)$$

- Przypadek III, jeżeli $X > 0,55 h_1$

$$M = \frac{1}{m} \left[\frac{0,4 \cdot b \cdot h_1^2 \cdot R_m + F_z \cdot R_e (h_1 - a)}{S} - \frac{N}{2} (h_1 - a) \right] \quad (35)$$

$$S = \frac{0,4 \cdot b \cdot h_1^2 \cdot R_m + F_z \cdot R_e (h_1 - a)}{M \cdot m + \frac{N}{2} (h_1 - a)} \quad (36)$$

Jeżeli punkt przyłożenia siły N znajduje się między osiami zbrojeń ściskanego i rozciąganego lub niżej ściskanego konieczne jest dodatkowe sprawdzenie wg wzoru

$$\frac{S \cdot N}{\varphi} (h_1 - 2a) \leq S_o \cdot R_s + \sum F_z \cdot R_e (h_1 - a) \quad (37)$$

w którym:

S_o - moment statyczny całego przekroju użytecznego względem zbrojenia ściskanego,

φ - współczynnik wg tabl. 9,

F_z - całkowity przekrój zbrojenia podłużnego.

b) Dla przekroju dwuteowego.

W zależności od wielkości mimośrodowość nośności słupów należy obliczać według zasad podanych w PN-56/B-03260.

5.5. Skręcanie. W przypadku obciążenia słupa siłami wywołującymi skręcanie, naprężenia główne przy skręcaniu należy obliczać wg zasad podanych w PN-56/B-03260.

6. KONSTRUOWANIE

6.1. Konstrukcja słupów

6.1.1. Przekrój zbrojenia podłużnego w słupach zginanych i mimośrodowo ściskanych nie powinien przekraczać 5%.

6.1.2. Zbrojenie słupów. Do zbrojenia podłużnego słupów należy stosować pręty o średnicy od 8 do 30 mm.

Średnica strzemion powinna być nie mniejsza niż 0,2 średnicy zbrojenia podłużnego i nie mniej niż 4,5 mm.

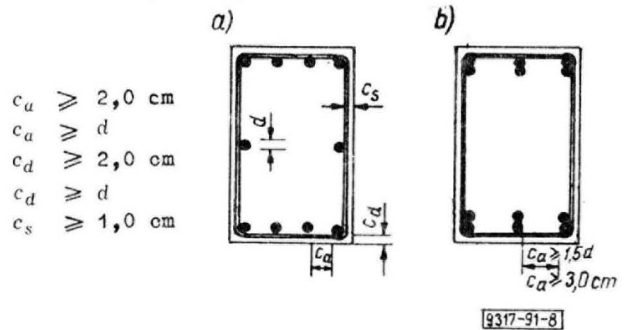
6.1.3. Rozmieszczenie prętów w przekroju

6.1.3.1. Minimalny rozstaw prętów zbrojenia podłużnego powinien wynosić co najmniej 2 cm w świetle i nie mniej niż średnicę pręta grubszego (rys. 8a).

6.1.3.2. Rozstaw strzemion nie powinien przekraczać wartości podanych w PN-57/B-03260.

6.1.3.3. Zgrupowanie prętów. W przypadku gdy zapewnione są warunki prawidłowego zagęszczenia betonu zezwala się na grupowanie prętów parami (rys. 8b).

Odległość pomiędzy parami prętów powinna wynosić nie mniej niż 1,5d.



Rys. 8

6.2. Łączenie prętów. Zbrojenie powinno składać się, jeśli jest to możliwe, z prętów nieprzerwanych. Gdy warunek ten nie może być spełniony, odcińki prętów powinny być łączone przez spawanie lub zgrzewanie.

Połączenia spawane wykonać należy jednym ze sposobów podanych w tabl. 11.

Ilości prętów łączonych w jednym miejscu nie ogranicza się, z wyjątkiem słupów o stopniu zbrojenia przekraczającym 3%, których przekrój prętów łączonych w jednym miejscu nie powinien przekraczać 50% całkowitego przekroju prętów.

Tablica 11. Złącza spawane

Lp.	Rodzaj spawania i typ złącza	Konstrukcja połączenia
1	Zgrzewanie elektryczne oporowe doczołowe prętów	
2	Spawanie łukiem elektrycznym prętów na nakładkę z jedną spoiną boczną	
3	Spawanie łukiem elektrycznym prętów na nakładkę z dwoma spoinami	