

BUDOWNICTWO KOLEJOWE	NORMA BRANŻOWA	BN-73
	Sieć trakcyjna kolejowa	8939-05
	Fundamenty konstrukcji wsporczych	
	Obliczenia statyczne i projektowanie	
		Grupa katalogowa VII 83

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są obliczenia statyczne i zasady projektowania fundamentów konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej kolejowej.

1.2. Zakres stosowania normy. Normę należy stosować przy wykonywaniu obliczeń statycznych ustojów i projektowaniu fundamentów konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej.

Norma obejmuje projektowanie fundamentów betonowych i żelbetowych stosowanych przy konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej, wykonywanych na miejscu budowy oraz jako prefabrykaty.

1.3. Określenia

1.3.1. Maksymalne naprężenie pionowe — naprężenie, które może powstać w gruncie na skutek obciążeń zewnętrznych pod podstawą fundamentu w poziomie posadowienia.

1.3.2. Dopuszczalne naprężenie pionowe — największe naprężenie pionowe, które może powstać w poziomie posadowienia nie powodując odkształceń szkodliwych dla konstrukcji wsporczej.

1.3.3. Maksymalne naprężenie poziome — naprężenie poziome, które może powstać na bocznych ścianach fundamentu na głębokości posadowienia.

1.3.4. Maksymalny odpór poziomy — bierne parcie gruntu (odpór) na głębokości posadowienia.

1.3.5. Dopuszczalne naprężenie poziome — odpór poziomy, który może wystąpić w poziomie posadowienia fundamentu, nie powodując przekroczenia maksymalnego oporu poziomego.

1.3.6. Dopuszczalna nośność fundamentu — obciążenie, przy którym istnieje wymagany zapas bezpieczeństwa przeciw utracie stateczności fundamentu i zniszczeniu jego konstrukcji.

1.3.7. Poziom posadowienia — poziomy podstawy fundamentu.

1.3.8. Głębokość posadowienia — odległość pomiędzy powierzchnią terenu a poziomem posadowienia.

1.3.9. Pozostałe określenia — wg PN-59/B-63020 oraz PN-63/B-03322.

1.4. Normy związane

PN-64/B-02009 Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia stałe i zmienne

PN-54/B-02480 Grunty budowlane. Klasyfikacja
PN-69/B-03000 Projekty budowlane. Obliczenia statyczne

PN-59/B-03020 Grunty budowlane. Wytyczne wyznaczania dopuszczalnych obciążeń jednostkowych

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

PN-63/B-03322 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Fundamenty konstrukcji wsporczych. Obliczenia statyczne

PN-63/B-06250 Beton zwykły

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

PN-69/K-02057 Koleje normalnotorowe. Skrajnie budowli

BN-71/9317-89 Sieć trakcyjna kolejowa. Stalowe konstrukcje wsporcze. Obliczenia statyczne i projektowanie

BN-71/9317-91 Sieć trakcyjna kolejowa. Słupy żelbetowe. 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 wykonania fundamentów powinny być stosowane marki betonu podane w PN-57/B-03260.

Do fundamentów z betonu niezbrojonego należy stosować beton marki nie niższej niż 90.

2.2. Stal. Do zbrojenia fundamentów powinny być stosowane rodzaje stali podane w PN-57/B-03260.

Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Kolejowego

Ustanowiona przez Ministra Komunikacji dnia 14 kwietnia 1973 r. jako norma obowiązująca w zakresie opracowywania dokumentacji technicznej od dnia 1 stycznia 1974 r. (Dz. Norm. i Miar nr 23/1973 poz. 68)

3. OKREŚLENIE WŁAŚCIWOŚCI GRUNTÓW

3.1. Oględziny zewnętrzne terenu są dokonywane w celu określenia stanu gruntu i wyboru metody klasyfikacji.

Właściwości gruntu można określić na podstawie zewnętrznych oględzin terenu w dostosowaniu do klasyfikacji gruntów podanej w PN-59/B-03020, PN-63/B-03322 i PN-54/B-02480.

W celu projektowania fundamentów typowych przeznaczonych do stosowania w przeważającej liczbie stanowisk można przyjmować uogólnione właściwości gruntów wg PN-63/B-03322.

Właściwości gruntów nasypowych należy przyjmować jak dla odpowiednich gruntów rodzimych z uwzględnieniem stopnia zagęszczenia gruntu.

W obliczeniach nośności fundamentów nie uwzględnia się spójności (kohezji).

Za grunt nawodniony uważać należy taki grunt, w którym maksymalny poziom wody gruntowej znajduje się 0,50 m powyżej poziomu posadowienia.

3.2. Terenowe prace badawcze. Wykonywanie terenowych prac badawczych konieczne jest w następujących przypadkach:

a) przy posadowieniu fundamentów pod słupy zawieszonych poprzecznych,

b) dla gruntów o właściwościach różniących się zasadniczo od podanych w 3.1 (skały, rumosze, tereny błotniste, luźne nasypy, nasypy z żuźla lub kamienia dolowego, grunty organiczne, grunty spoisłe miętko plastyczne itp.).

Określenie właściwości gruntu powinno wówczas nastąpić na podstawie wyników badań terenowych i laboratoryjnych, w zakresie umożliwiającym zaprojektowanie fundamentów.

3.3. Tereny objęte eksploatacją górniczą. W przypadku posadowienia fundamentów na terenach objętych eksploatacją górniczą właściwości gruntów dla celów obliczenia nośności fundamentów można przyjmować wg 3.1.

Obszar występowania szkód górniczych i ich rozmiary ustala się na podstawie opinii odpowiedniego Urzędu Górniczego.

4. OBLICZENIA STATYCZNE

4.1. Wymagania ogólne

4.1.1. Obliczenia fundamentów należy wykonywać wg PN-69/B-03000 oraz dodatkowo dla:

a) konstrukcji żelbetowych wg PN-57/B-03260,
b) konstrukcji betonowych wg odpowiednich norm przedmiotowych.

Obciążenia należy przyjmować wg BN-71/9317-89 i BN-71/9317-91.

4.1.2. Metoda wyznaczania dopuszczalnych naprężeń pionowych oparta jest na wartościach naprężeń dopuszczalnych dla różnych gruntów, bez sprawdzania wielkości spodziewanych osiadań.

4.1.3. Gęstość pozorną materiałów wchodzących w konstrukcję fundamentu należy przyjmować wg PN-64/B-02009.

4.1.4. Wypór wody gruntowej. W przypadku posadowienia fundamentów poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej, należy uwzględnić działanie wyporu.

4.1.5. Nośność fundamentów otoczonych zasypką. Przy obliczeniu nośności fundamentów otoczonych zasypką należy uwzględnić rodzaj i stan gruntu zasypowego.

W założeniu, że grunt zasypowy będzie zagęszczony zgodnie z PN-63/B-03322, nośność fundamentów można obliczać jak w przypadku posadowienia w odpowiednim gruncie rodzimym.

Rodzaj gruntu zasypowego oraz sposób i stopień zagęszczenia należy określić w dokumentacji.

4.1.6. Przekroczenie naprężeń dopuszczalnych w gruncie. Przy mimośrodowym obciążeniu fundamentu dopuszczalne naprężenie pionowe K można zwiększyć o 20% pod najbardziej obciążoną krawędzią fundamentu z zastrzeżeniem, że naprężenie w środku ciężkości obciążonej powierzchni nie przekroczy wartości K .

W przypadku dociążenia istniejących w terenie (powyżej 3 lat) fundamentów, maksymalnie pionowe naprężenie krawędziowe σ_{max} może przekroczyć K o 30%.

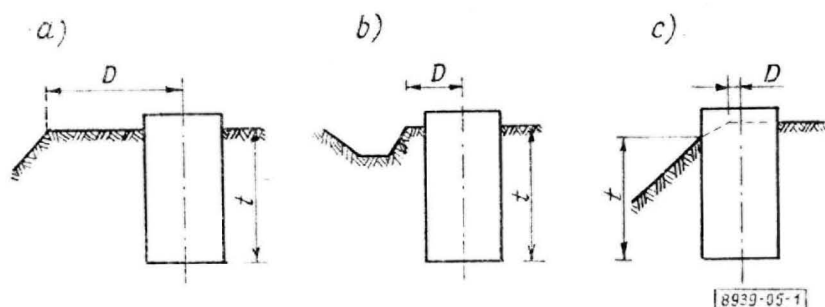
4.1.7. Wpływ ukształtowania terenu. Przy obliczaniu nośności fundamentów należy uwzględnić przekroje poprzeczne podtorza odpowiednie dla danej linii kolejowej.

W przypadku posadowienia fundamentu w pobliżu rowu odwadniającego lub na stoku nasypu (rys. 1a ÷ c) maksymalny odpór poziomy gruntu P_h należy zmniejszyć stosując mnożnik $\frac{1}{1,25}$.

Fundamenty otoczone gruntem nasypowym powinny mieć właściwą ochronę przed działaniem wód opadowych.

Jeżeli odległość osi fundamentu od krawędzi nasypu lub rowu odwadniającego jest równa lub większa od głębokości posadowienia $D \geq t$, wówczas nośność fundamentów należy obliczać jak dla terenu płaskiego.

Głębokość posadowienia fundamentów usytuowanych na stoku nasypu należy przyjmować wg rys. 1c.

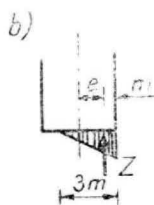
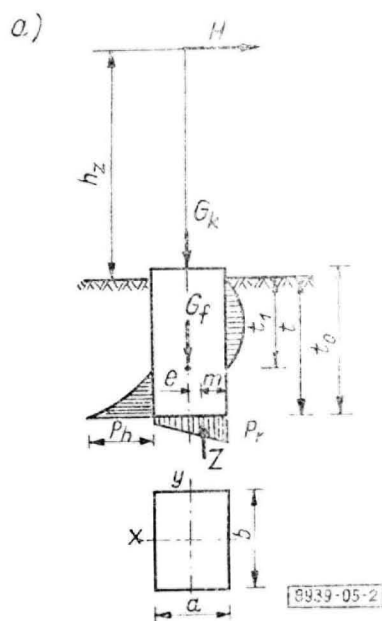


Rys. 1

4.2. Fundamenty jednolite

4.2.1. Fundament blokowy bez odsadzki. Przy obliczaniu nośności fundamentów blokowych bez odsadzki należy uwzględnić przenoszenie momentów wywracających częściowo przez boczny i pionowy odpór gruntu.

Zaleca się przy tym stosować metodę parabolicznego rozkładu naprężeń na ścianach pionowych bocznych (rys. 2a i b).



Rys. 2

Maksymalny odpór poziomy gruntu R_h na głębokości posadowienia należy obliczać wg wzoru

$$R_h = \frac{\gamma_o \cdot t}{1000} \lg^2 \left(45 + \frac{q}{2} \right) \quad (1)$$

w którym:

- γ_o — gęstość pozorna gruntu dla gruntów nawodnionych, należy przyjąć γ_w ($\gamma'_{o \text{ pow.}}$),
- t — głębokość posadowienia fundamentu,
- q — kąt tarcia wewnętrzznego.

4.2.2. Nośność fundamentów blokowych podlegających równoczesnemu działaniu siły pionowej Z i siły poziomej H oblicza się wg następujących wzorów:

a) obliczenie siły H_1 przenoszonej przez odpór poziomy gruntu

$$H_1 = \frac{R_h \cdot b \cdot t^2}{6(2h_z + t)} \quad (2)$$

b) obliczenie siły H_2 przenoszonej przez odpór pionowy gruntu (stopowy)

$$H_2 = H - H_1 \quad (3)$$

c) obliczenie wielkości mimośrodu

$$e = \frac{H_2(h_z + t)}{Z} \quad (4)$$

d) obliczenie naprężeń pionowych pod stopą fundamentu, jeżeli mimośród e znajduje się w rdzeniu przekroju

$$e < \frac{a}{6} \quad (\text{rys. 2a}), \text{ wówczas}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Z}{a - b} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{Z} \right) \quad (5a)$$

Jeżeli mimośród e znajduje się poza rdzeniem przekroju

$$\frac{a}{2} > e \geq \frac{a}{6} \quad (\text{rys. 2b}), \text{ wówczas } m = \frac{a}{2} - e$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot Z}{3b \cdot m} \quad (5b)$$

w których:

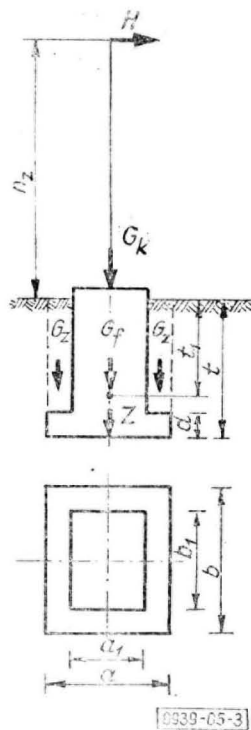
- t — głębokość posadowienia,
- a, b — wymiary fundamentu wg rys. 2,
- H — suma sił poziomych,
- h_z — zastępcza wysokość przyłożenia siły poziomej wg rys. 2,

Z — suma obciążeń pionowych słupa wraz z ciężarem słupa G_k i fundamentu G_f ,
 $Z = G_k + G_f$.

Jeżeli wartość mimośrodru $e > \frac{a}{2}$, wymiary fundamentu należy odpowiednio powiększyć.

Przy obciążeniu pionowym Z , gdy ze wzoru 3 wypada $H_2 < 0$, należy dodatkowo sprawdzić nośność pionową fundamentu ze wzoru

$$Z \leq a \cdot b \cdot K \quad (6)$$



Rys. 3

4.2.3. Fundament blokowy z odsadzką. Nośność fundamentów blokowych z odsadzką, podlegających równoczesnemu działaniu siły podłużnej Z i siły poziomej H , oblicza się wg następujących wzorów:

a) obliczenie położenia osi obojętnej fundamentu pod terenem

$$t_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{b \cdot t^3 - (b - b_1) \cdot (t - d)^3}{b \cdot t^2 - (b - b_1) \cdot (t - d)^2} \quad (7)$$

b) obliczenie siły H_1 przenoszonej przez odpór poziomy gruntu

$$H_1 = \frac{t - t_1}{4t^3} \cdot \frac{b \cdot t^4 - (b - b_1) \cdot (t - d)^2 \cdot (t - 3d)^2}{h_z + t_1} \cdot R_h \quad (8)$$

Dalszy ciąg obliczeń należy wykonać wg wzorów (1), (3), (4) i (5a) lub (5b).

Oznaczenia: a, a_1, b, b_1, d, t_1 — wymiary fundamentu wg rys. 3, Z — suma obciążeń pionowych

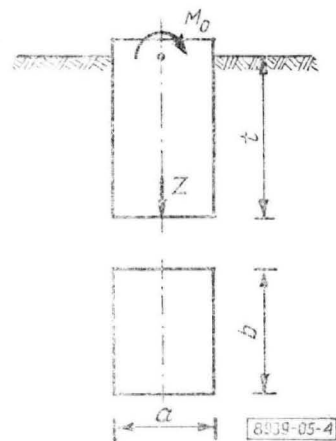
słupa oraz ciężar słupa G_{ks} fundamentu G_f i ziemi na odsadzkach G_z . $Z = G_k + G_f + G_z$, pozostałe oznaczenia wg 4.2.1.

4.2.4. Uproszczony sposób obliczenia fundamentu blokowego z odsadzką polega na tym, że przy obliczaniu odporu poziomego gruntu przyjmuje się wymiary trzonu fundamentu o głębokości t (bez odsadzki), a przy obliczaniu odporu pionowego gruntu przyjmuje się rzeczywiste wymiary płyty stopowej.

Fundamenty blokowe podlegające równoczesnemu działaniu siły podłużnej Z i sił poziomych działających w kierunku dwóch głównych osi należy obliczać wg 4.2.1 i 4.2.2 dla każdej osi oddzielnie.

4.2.5. Szczegółne przypadki obciążeń fundamentów jednolitych

a) Nośność fundamentów blokowych podlegających równoczesnemu działaniu siły podłużnej Z i momentu M (rys. 4) oblicza się wg następujących wzorów:



Rys. 4

$$M_o = \frac{R_h \cdot b t^2}{12} + M_o \geq M \quad (9)$$

w którym:

M_o — maksymalny moment przeniesiony przez odpór pionowy gruntu, $M_o = Z \cdot e$

— jeżeli $m \leq \frac{a}{3}$, to $e = \frac{a}{2} - m$

— jeżeli $m > \frac{a}{3}$, to $e = \frac{a}{6} \left(\frac{a \cdot b \cdot K - 1}{Z} \right)$

$$\text{gdzie } m = \frac{2Z}{3b - K}$$

pozostałe oznaczenia jak w 4.2.1 i 4.2.2.

b) Nośność fundamentów blokowych podlegających równoczesnemu działaniu siły podłużnej Z i siły poziomej H , przyłożonej w poziomie terenu (rys. 5), oblicza się wg następującego wzoru

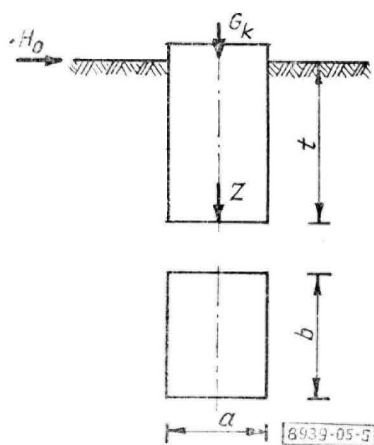
$$H_o = \frac{R_h \cdot b \cdot t^2}{6} + \frac{M_y}{t} \cdot H \quad (10)$$

ponadto $H = H_{\max}$,

gdzie $H_{\max}$ — graniczny odpór poziomy gruntu obliczany wg wzoru (11)

$$H_{\max} = \frac{R_h \cdot b \cdot t}{2} \quad (11)$$

M_o — jak w 4.2.3a)



Rys. 5

4.3. Fundamenty wyrwane

4.3.1. Fundamenty stopowe. Graniczną nośność fundamentów W_{gr} na działanie pionowej składowej siły wyrrywającej należy obliczać ze wzoru

$$W_{gr} = \frac{U_f^2 \cdot \gamma_o \cdot \lg \varphi}{2} + G \quad (12)$$

w którym:

U_f — obwód podstawy zastępczej stopy kołowej o powierzchni $A = \pi r^2$ równej powierzchni podstawy zastosowanego fundamentu, $U_f = 2\pi r$,

G — ciężar fundamentu G_f oraz ciężar ziemi spoczywającej pionowo nad stopą fundamentu G_z (rys. 6), $G = G_f + G_z$, pozostałe oznaczenia wg 4.2.1.

Dopuszczalną nośność fundamentu na wyrwanie R_{dop} należy obliczać wg wzoru

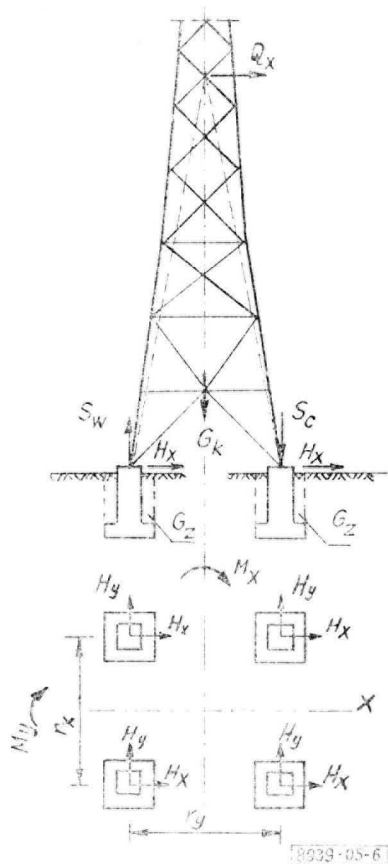
$$W_{dop} = \frac{W_{gr}}{1,75} \quad (13)$$

ponadto dla fundamentów bez odsadzki

$$W_{dop} = \frac{G}{1,30} \quad (14)$$

1,75; 1,20 — współczynniki pewności.

W przypadku pośladowienia fundamentu w gruncie nawodnionym, ciężar G_f należy zmniejszyć o wartość wyporu wody.



Rys. 6

4.3.2. Fundamenty odciągów

a) Obciążenie mimośrodowe. Graniczną nośność fundamentu na działanie pionowej składowej siły wyrrywającej R należy obliczyć wg 4.3.1.

Graniczną nośność fundamentu na działanie poziomej składowej siły wyrrywającej H można obliczać ze wzoru

$$H = \frac{R_h \cdot b \cdot t^2}{6t_z} + \frac{(G-R)a}{2t_z} - \frac{2(G-R)^2}{3b \cdot t_z \cdot K} + \frac{a_z \cdot R}{t_z} \quad (15)$$

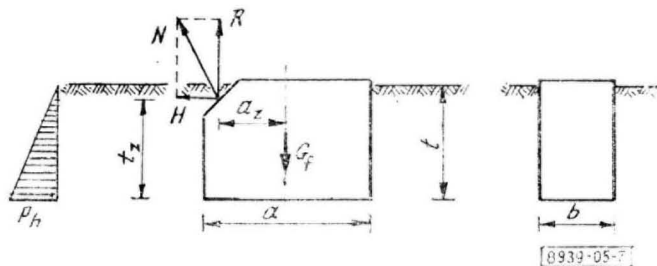
ponadto $H \leq H_{\max}$

w których:

$$H_{\max} = \frac{R_h \cdot b \cdot t}{2} \quad (\text{maksymalna siła pozioma}),$$

R_h — wg wzoru (1),

a, b, t, a_z, t_z — wg rys. 7.



Rys. 7

b) Obciążenie osiowe należy obliczać wg 4.3.1.

4.4. Fundament czterostopowy. Fundament czterostopowy (rys. 6) należy obliczać wg zasad podanych w PN-63/B-03322.

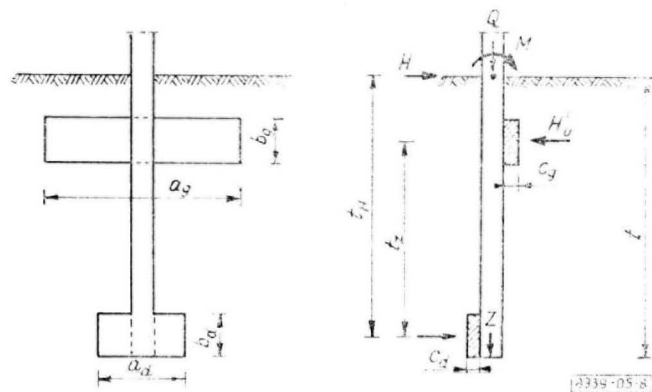
4.5. Fundamenty inne

4.5.1. Fundament słupkowy. Fundamenty, których powierzchnia podstawy jest mniejsza niż $0,25 \text{ m}^2$, należy obliczać wg PN-63/B-03322.

Podaną metodę obliczeń należy stosować również dla słupów ustawianych bezpośrednio w gruncie, których powierzchnia podstawy spełnia warunek:

$$A \leq 0,25 \text{ m}^2$$

4.5.2. Obsada słupa bezfundamentowego



Rys. 8

Nośność fundamentów słupkowych ze wzmocnieniem poziomym podlegających równoczesnemu działaniu siły podłużnej Z i siły poziomej H oblicza się wg następującego sposobu:

a) obliczenie siły poziomej H'_u dla górnego wzmocnienia

$$H'_u = \frac{M + H \cdot t_H}{t_z} \quad (16)$$

b) obliczenie siły poziomej H''_u dla dolnego wzmocnienia

$$H''_u = H'_u - H \quad (17)$$

c) obliczenia poziomych naprężeń w gruncie

$$p_g = \frac{H'_u}{a_g \cdot b_g} \leq \frac{1}{3} R_h \quad (18)$$

oraz

$$p_d = \frac{H''_u}{a_d \cdot b_d} \leq R_h \quad (19)$$

d) obliczenie pionowych naprężeń w gruncie

$$\sigma_{\max} = \frac{Z}{a_g \cdot c_g} \leq K \quad (20)$$

w których:

$t_H, t_z, a_g, b_g, a_d, b_d, c_g$ — wg rys. 8,

R_h — wg wzoru (1),

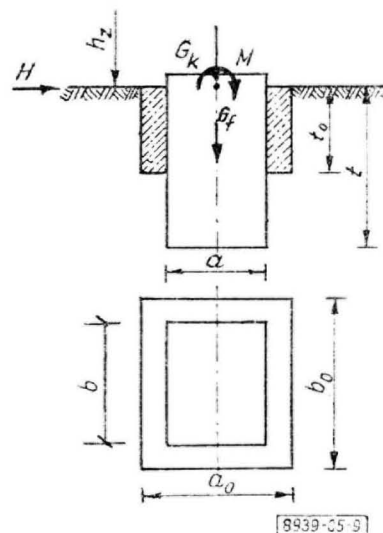
Z — obciążenie pionowe słupa oraz ciężar słupa.

Przyjęto, że całe obciążenie pionowe rozkłada się równomiernie na górne wzmocnienie poziome słupa, a moment wywracający wywołany przez działanie sił poziomych przenoszony jest przez odpór boczny gruntu.

4.5.3. Wzmocnienie istniejących fundamentów. W przypadku zwiększenia obciążeń powodujących przekroczenie naprężeń dopuszczalnych, fundament należy powiększyć.

Zwiększenie nośności istniejącego fundamentu zaleca się wykonać przez obetonowanie wokół betonem o $R_m \geq 110 \text{ kG/cm}^2$ zapewniając dostateczne połączenie starego betonu ze świeżym.

Głębokość obetonowania wokół fundamentu powinna zapewniać ochronę przed skutkami przemarzania gruntu wg PN-59/B-03020.



Rys. 9

Nośność fundamentu wzmocnionego podlegającego równoczesnemu działaniu siły podłużnej Z i siły poziomej H można obliczyć wg następujących wzorów:

a) obliczenie siły H_1 przenoszonej przez odpór poziomy

$$H_1 = \frac{R_h \cdot b_t^2}{6(2h_z + t)} + \frac{R_{ho} \cdot (b_o - b) t_o^2}{6(2h_z + t_o)} \quad (21)$$

w którym:

$$R_{ho} = -\frac{\gamma_o \cdot t_o}{1000} \lg^2 \left(45 + \frac{q}{2} \right)$$

b_o, t_o — wymiary wg rys. (9),

pozostałe oznaczenia jak w 4.1.

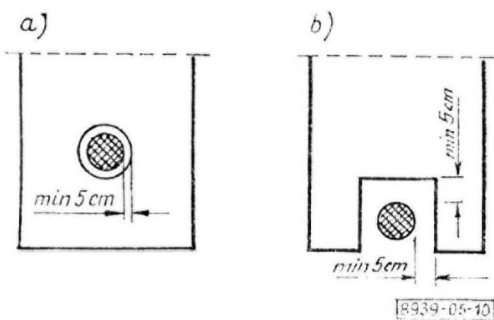
Dalszy ciąg obliczeń jest identyczny jak w 4.1, przy czym odpór pionowy gruntu należy obliczać dla podstawy równej przekrojowi powiększonemu wg wzoru (5a) lub (5b).

5. PROJEKTOWANIE

5.1. Dane ogólne. Fundamenty konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej należy projektować w zasadzie jako bloki betonowe wykonywane bezpośrednio w przygotowanym wykopie lub prefabrykowane. W uzasadnionych przypadkach można stosować fundamenty betonowe zbrojone.

5.2. Kształt fundamentów. Zaleca się projektowanie fundamentów w kształcie prostopadłościanów o przekroju prostokątnym lub kwadratowym.

W przypadku występowania w obrębie fundamentu urządzeń podziemnych (kolektory, rury, dreny itp.), należy kształt fundamentów odpowiednio zmodyfikować.



Rys. 10

Minimalne odległości pomiędzy fundamentem a zewnętrzną powierzchnią urządzenia podziemnego podano na rys. 10a i b.

5.3. Wymiary fundamentów. Wymiary przekroju poprzecznego fundamentu powinny być tak dobrane, aby zapewnić wymagania skrajni budowli wg PN-69/K-02057.

Głębokość posadowienia fundamentu powinna zapewniać ochronę przed skutkami przemarzania gruntu wg PN-59/B-03020.

5.4. Fundamenty prefabrykowane. Ciężar fundamentów prefabrykowanych nie powinien przekraczać nośności dźwigów stosowanych przy transportowaniu i ustawianiu fundamentów. Fundamenty prefabrykowane powinny mieć określony sposób transportowania w czasie wykonywania i montażu.

Fundamenty prefabrykowane winny mieć uchwyty do transportu. Obliczenie uchwytów należy wykonać wg PN-57/B-03260.

5.5. Zamocowanie słupa w fundamencie. Różni się dwa sposoby zamocowania słupa w fundamencie betonowym:

a) Zabetonowanie dolnej części słupa we wnęce fundamentowej, przy czym głębokość wnęki powinna wynosić $\frac{1}{12} \div \frac{1}{6}$ całkowitej długości słupa i jednocześnie nie mniej niż 1,5 większego wymiaru poprzecznego przekroju słupa.

Przekrój poprzeczny wnęki powinien być dostosowany do przekroju i rozszerzać się ku górze przy pochyłości ścian 1 : 50.

b) Przykręcenie podstawy słupa do kotew fundamentowych uprzednio zabetonowanych w fundamencie.

6. POSTANOWIENIA PRZEJŚCIOWE

Do czasu ustanowienia odpowiedniej normy na projektowanie konstrukcji betonowych, należy w zakresie postanowień podanych w 4.1.1.6 stosować przepisy podane w PN/B-03250-projekt. Konstrukcje betonowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

K O N I E C