ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995
Seria: BUDOWNICTWO z.81 Nr kol.1292

Feliks ANDERMANN, Lidia FEDOROWICZ, Jan FEDOROWICZ

OBRÓT BUDOWLI O SZTYWNEJ KONSTRUKCJI PRZY POZIOMYM ROZLUŹNIENIU PODŁOŻA

Streszczenie. W pracy podano sposób wyznaczania wartości kąta obrotu fundamentu wywołanego działaniem poziomego rozluźnienia terenu na podeszwę fundamentu. Zadanie rozwiązano dla dowolnego kształtu rzutu poziomego fundamentu i przypadku dużych deformacji terenu. Założono przy tym, że $\varepsilon > \varepsilon gr$ na całej powierzchni fundamentu, a naprężenia styczne działające w podeszwie fumdamentu są stałe i równe wytrzymałości gruntu na ścinanie θ.

A STIFF STRUCTURE BUILDING'S ROTATION SUBJECTED TO HORIZONTAL SUBSOIL'S LOOSENING

Summary. There was presented the way of rotation angle evaluating of foundation evoken by influence of horizontal loosening of subsoil underneath the foundation. The task was solved for an arbitrary foudation shape and for large subsoil deformations. There was assumed that $\varepsilon > \varepsilon gr$ on whole foundation surface, and shear stresses under foundation are constants and equal to strength of the subsoil on shearing θ.

ОБОРОТ ЖЁСТКОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ РАЗРЫХЛЕНИЮ ТЕРРИТОРИИ

Резюме. В работе дано способ выделения величины обота фундамента вызваного влиянием горизонтального разрыхления основания на подошву фундамента Задачу разрешено для любой формы горизонтальной проекции фундамента и для случая больших деформации основания. Положено, что $\varepsilon > \varepsilon гр$ на полной поверхности фундамента, а касательные напряжения в подошве фундамента постоянные и равные сдвиговой прочности θ грунта.

1. WSTĘP

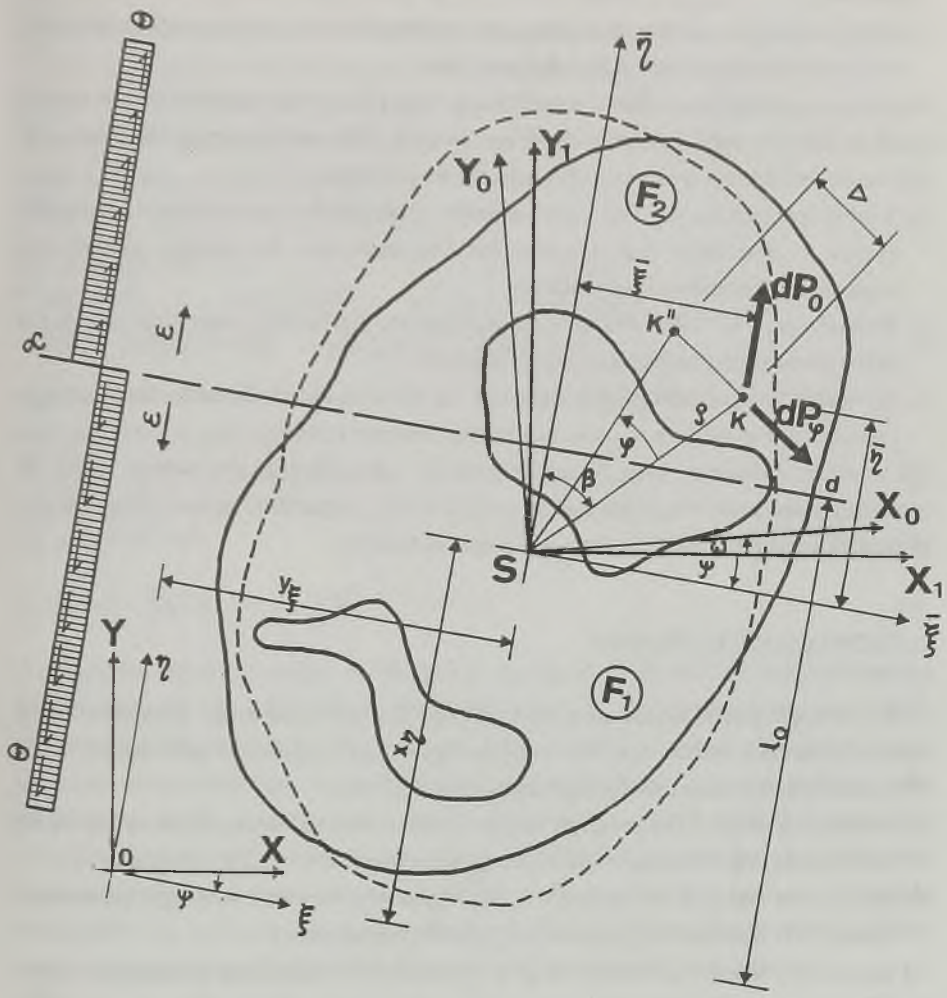
Na skutek eksploatacji górniczej na powierzchni terenu tworzy się niecka, której zbocza przesuwają się wraz z frontem robót górniczych, powodując między innymi poziome

przemieszczenia fundamentów posadowionych nad polem eksploatacji. W praktyce inżynierskiej określenie dodatkowego obciążenia budowli wynikającego z górniczej deformacji podłoża następuje na podstawie wcześniej wyznaczonych względnych przemieszczeń budowli i podłoża. W ogólności, przemieszczenia te można sparametryzować podając wartości trzech jego składowych - dwóch przesunięć w płaszczyźnie fundamentu względem dowolnie przyjętego układu odniesienia oraz kąta obrotu fundamentu wokół osi prostopadłej do jego płaszczyzny. Wartości tych składowych przemieszczeń zależą zarówno od kierunku i intensywności poziomego rozluźnienia, rodzaju podłoża, jak i kształtu oraz podatności fundamentu. Ocena ilościowa wpływu podatności konstrukcji na jej przemieszczenie względem podłoża jest zadaniem skomplikowanym, wymagającym ścisłego rozwiązania zagadnienia kontaktu budowli z podłożem. W ogólnym przypadku uwzględnienie podatności konstrukcji prowadzi do zmniejszenia wartości przemieszczeń budowli obliczonych jak dla konstrukcji sztywnych. W praktyce dla bardzo szerokiej klasy obiektów budowlanych można założyć, że fundamenty tych budowli są w swojej płaszczyźnie niepodatne. Ma to miejsce przy posadowieniu budowli na płytach lub skrzyniach fundamentowych, a także w świetle badań [1,2,3,4] dla budynków o monolitycznej lub prefabrykowanej konstrukcji ścianowej posadowionych na ławach w postaci rusztów fundamentowych. W pracy przedstawiono sposób obliczania obrotu takich fundamentów.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU. ZAŁOŻENIA

Rozpatruje się fundament o dowolnym rzucie poziomym (rys.1), zlokalizowany w obszarze wpływów poziomego rozluźnienia terenu. Zakłada się przy tym, że:

1. kierunek tworzącej zbocza niecki podany jest wartością kąta ψ mierzonego w stosunku do dowolnie przyjętego układu odniesienia,
2. intensywność poziomego rozluźnienia podłoża mierzona parametrem ε (mm/m) jest stała w obrębie całego rzutu poziomego fundamentu,
3. konstrukcja fundamentu jest nieodkształcalna w płaszczyźnie posadowienia,
4. podłoże gruntowe zachowuje się jak jednorodna półprzestrzeń sprężysta o współczynniku poziomej podatności stałym na całej powierzchni rzutu i równym C_p (kN/m^3) [5],



Rys.1.

5. jedynym obciążeniem działającym na fundament w jego płaszczyźnie posadowienia są siły wynikające z naprężeń stycznych pojawiających się w płaszczyźnie styku fundamentu i podłoża,
6. obrót fundamentu wokół środka obrotu jest dostatecznie mały, aby jego wpływ na zmianę współrzędnych dowolnego punktu był pomijalny.

Poszukuje się wartość kąta obrotu φ fundamentu względem osi prostopadłej do płaszczyzny posadowienia. W myśl założenia 5 można określić trzy możliwe przypadki obciążenia sztywnego fundamentu poziomo deformującym się podłożem:

A. Wartość parametru $\varepsilon<\varepsilon_{gr}$ i na całym obszarze rzutu poziomego fundamentu naprężenie styczne w dowolnym jego punkcie jest proporcjonalne do wartości swobodnego, względnego przemieszczenia podłoża.
B. Wartość $\varepsilon>\varepsilon_{gr}$ i na całym obszarze rzutu poziomego fundamentu naprężenie styczne jest stałe i równe wytrzymałości gruntu na ścinanie θ.
C. Występuje stan pośredni między stanem A i B, czyli na części obszaru rzutu poziomego spełniony jest warunek $\varepsilon<\varepsilon_{gr}$, a na pozostałym obszarze jest $\varepsilon>\varepsilon_{gr}$.

Rozwiązanie zadania A przy podanych powyżej założeniach przedstawiono w [6]. W niniejszej pracy, zachowując oznaczenia przyjęte w [6], rozpatrzony zostanie drugi skrajny przypadek współpracy fundamentu z podłożem - zadanie B.

3. ROZWIĄZANIE PROBLEMU

Niech rozpatrywany fundament z rys.1 poddany działaniu poziomego obciążenia θ (kPa) sparametryzowany będzie dowolnie przyjętym globalnym układem współrzędnych XOY. Wprowadźmy trzy nowe układy współrzędnych prostokątnych:

a) pomocniczy układ $\xi O\eta$ związany swoim środkiem O z układem globalnym i o osi $O\eta$ pokrywającej się z kierunkiem eksploatacji nachylonym do osi OX pod kątem $(90-\psi)$,
b) pomocniczy układ współrzędnych X_1SY_1 otrzymany poprzez równoległe przesunięcie układu XOY do dowolnego punktu $S(x_\eta, y_\xi)$ rzutu fundamentu,
c) pomocniczy układ współrzędnych $\bar{\xi}S\bar{\eta}$ otrzymany z równoległego przesunięcia układu $\xi O\eta$ do punktu S.

Przyjmijmy, że linia zerowych, względnych przemieszczeń fundamentu i podłoża α-α znajduje się w odległości l_0 od osi $O\xi$ i dzieli pole rzutu fundamentu na dwie dowolne części F_1 i F_2. W rozpatrywanym przypadku na każde elementarne pole dF fundamentu otaczające punkt K (rys.1) działają dwie siły:

- siła wynikająca z wytrzymałości gruntu na ścinanie $dP_o=\theta \cdot dF$, styczna do podeszwy fundamentu, o stałej wartości θ i kierunku zgodnym z osiami $O\eta$ i $S\bar{\eta}$,
- siła styczna do podeszwy fundamentu $dP_\varphi=C_P \cdot \Delta \cdot dF$, przeciwstawiająca się jego obrotowi wokół przyjętego punktu S o kierunku prostopadłym do promienia wodzącego punktu ρ i wartości proporcjonalnej do długości promienia wodzącego ρ tego punktu.

Zgodnie z rys.1 wartość $\Delta = \rho \cdot \varphi$, gdzie φ - poszukiwany kąt obrotu fundamentu.

W warunkach współdziałania fundamentu i poziomo deformującego się podłoża winne być spełnione ogólne warunki równowagi:

$$\sum P_{\bar{\xi}} = 0, \qquad \sum P_{\bar{\eta}} = 0, \qquad \sum M_S = 0. \tag{1}$$

Uwzględniając fakt, że

$$\bar{\xi} = \rho \cdot \sin(\beta), \qquad \bar{\eta} = \rho \cdot \cos(\beta), \qquad (dP_\varphi)_{\bar{\xi}} = (dP_\varphi) \cdot \cos(\beta),$$

$$(dP_\varphi)_{\bar{\eta}} = (dP_\varphi) \cdot \sin(\beta), \qquad (dP_o)_{\bar{\xi}} = 0, \qquad (dP_o)_{\bar{\eta}} = dP_o, \tag{2}$$

oraz $\theta > 0$ dla $(\bar{\xi}, \bar{\eta}) \in F_2$, i $\theta < 0$ dla $(\bar{\xi}, \bar{\eta}) \in F_1$,

równania (1) możemy zapisać:

$$\theta \cdot (\int_{F_2} dF - \int_{F_1} dF) - C_p \cdot \varphi \cdot \int_F \bar{\xi} \cdot dF = 0, \tag{3}$$

$$C_p \cdot \varphi \cdot \int_F \bar{\eta} \cdot dF = 0, \tag{4}$$

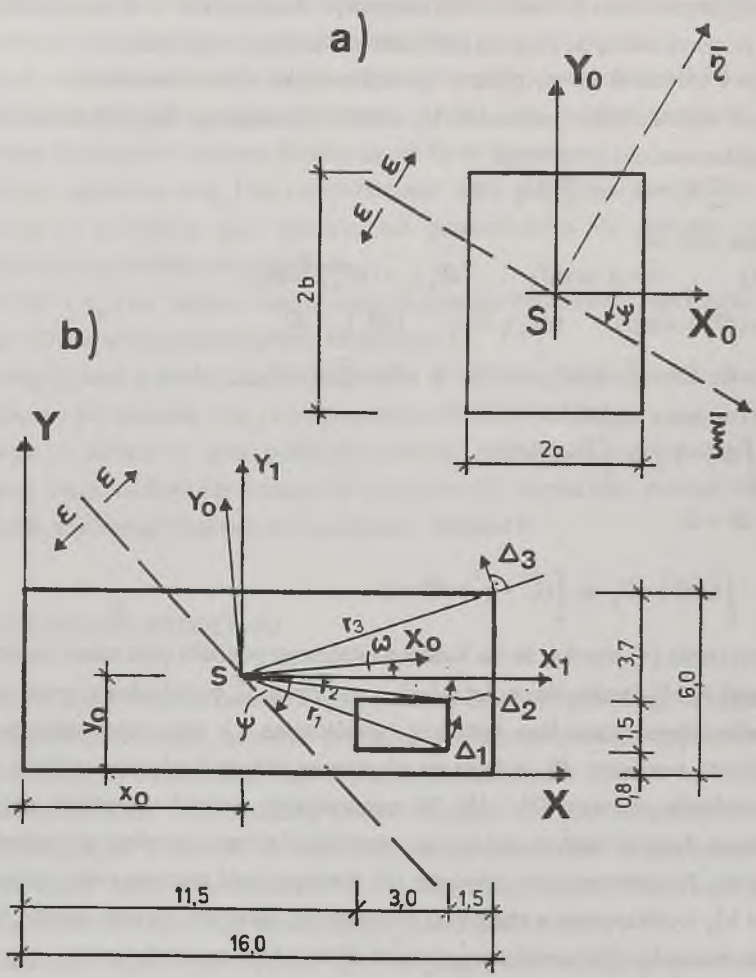
$$\theta \cdot (\int_{F_2} \bar{\xi} \cdot dF - \int_{F_1} \bar{\xi} \cdot dF) - C_p \cdot \varphi \cdot \int_F (\bar{\xi}^2 + \bar{\xi}^2) \cdot dF = 0. \tag{5}$$

Z analizy wyrażenia (4) wynika, że dla każdego ustalonego podziału pola rzutu fundamentu na dwie części F_1 i F_2 środek obrotu leżał będzie na prostej $S\bar{\xi}$ przechodzącej przez środek ciężkości pola całego rzutu. Jego położenie (współrzędną y_ξ) oraz odpowiadający temu środkowi obrotu konieczny dla zachowania równowagi układu fundament-podłoże, obrót fundamentu określą równania (3) i (5). W rzeczywistości spośród wszystkich statycznie dopuszczalnych obrotów możliwy jest ten, do wywołania którego potrzebny jest najmniejszy moment obrotu. Rozpatrzmy zatem równanie (5). Pierwsza część tego wyrażenia odpowiada momentowi M_θ wynikającemu z obciążenia fundamentu i dążącemu do jego obrotu. Wobec tego wartość minimalną siły wywołującej moment obrotu określimy z zależności:

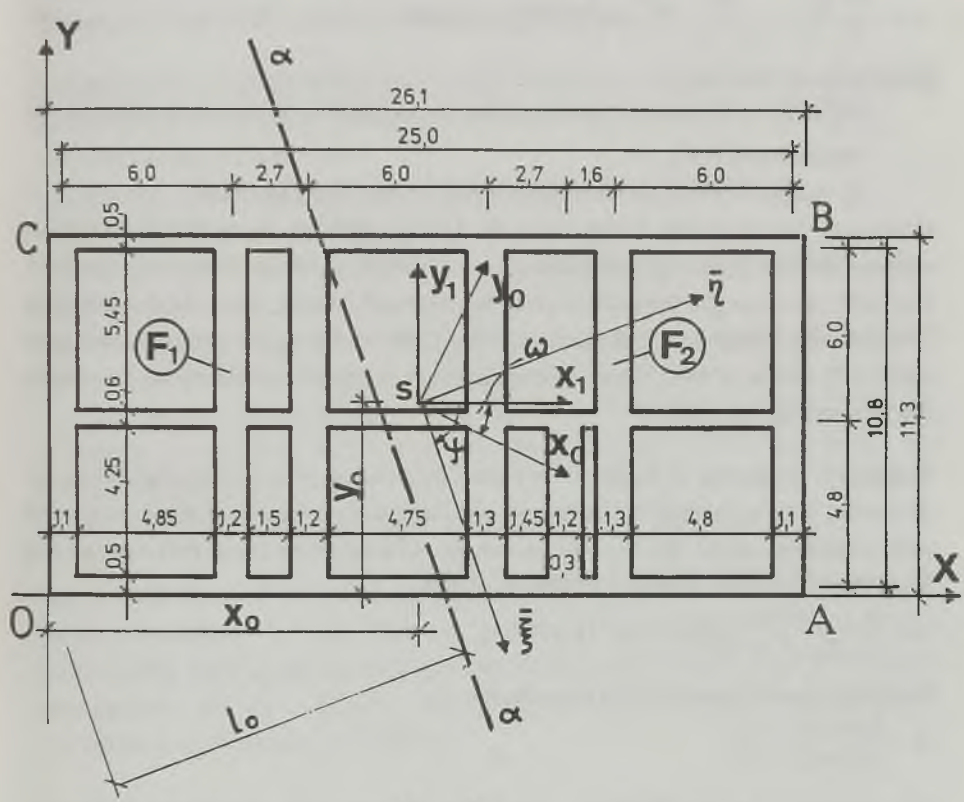
$$\frac{dM_\theta}{dy_\xi} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dy_\xi}(\theta \cdot (S_{\bar{\eta}}^{(2)} - S_{\bar{\eta}}^{(1)})) = -\theta \cdot (F_2 - F_1) = 0, \Rightarrow F_1 = F_2. \tag{6}$$

gdzie: $S_{\bar{\eta}}^{(1)}, S_{\bar{\eta}}^{(2)}$ - momenty statyczne pól F_1 i F_2 względem osi $S_{\bar{\eta}}$ układu $\bar{\xi}S\bar{\eta}$.

Wprowadźmy główny centralny układ współrzędnych X_oSY_o z początkiem w punkcie S i osi SX_o nachylonej pod kątem ω do osi SX_1 układu pomocniczego X_1SY_1. Uwzględniając


a)
b)
Y_0
$\bar{\eta}$
ε
ε
2b
S
φ
X_0
$\bar{\xi}$
2a
Y
Y_1
Y_0
ε
ε
Δ_3
r_3
ω
X_0
X_1
S
r_2
Δ_2
r_1
φ
Δ_1
y_0
x_0
X
3,7
6,0
1,5
0,8
11,5
3,0
1,5
16,0

Rys. 2.


Y
α
26,1
25,0
6,0
2,7
6,0
2,7
1,6
6,0
C
B
0,5
5,45
0,6
4,25
0,5
F1
F2
y1
y0
η
ω
x1
S
φ
x0
y0
1,1
4,85
1,2
1,5
1,2
4,75
1,3
1,45
1,2
1,3
4,8
1,1
0,3
6,0
10,8
11,3
4,8
X
O
x0
A
ξ
l0
α

Rys. 3.

zależności pomiędzy charakterystykami geometrycznymi pola fundamentu oraz wynik (6) w rozwiązaniu równań (3)÷(5) otrzymamy:

$$x_\eta = \frac{S_\xi}{F}, \tag{7}$$

$$y_\xi = \frac{S_\eta}{F}, \tag{8}$$

$$\varphi = -\frac{2\theta \cdot S_{\bar{\eta}}^{(1)}}{C_p \cdot J_S} = \frac{2\theta}{C_p \cdot J_S} \cdot (S_{x_o}^{(1)} \cdot \sin(\gamma) - S_{y_o}^{(1)} \cdot \cos(\gamma)); \tag{9}$$

gdzie: $\gamma=\psi+\omega$, $F=F_1+F_2$

$S_{x_o}^{(1)}, S_{y_o}^{(1)}$ - momenty statyczne pola F_1 względem głównych centralnych osi bezwładności X_oSY_o,

J_S - biegunowy moment bezwładności pola F względem punktu S.

Oznacza to, że rzeczywisty środek obrotu fundamentu pokrywa się ze środkiem ciężkości całego pola rzutu poziomego fundamentu, przy czym $F_1=F_2=0.5\cdot F$. Otrzymane zależności (7),(8),(9) są ważne dla przypadku dużych wartości parametru ε, czyli dla $\varepsilon>\varepsilon_{gr}$ na całym obszarze rzutu poziomego fundamentu. Według [7,8] wartość ε_{gr} nie przekracza wielkości rzędu 2÷3 mm/m, a więc wzory te obejmują tereny kwalifikowane do III i wyższych kategorii szkód górniczych.

Przykład 1. Rozpatruje się fundament w postaci prostokątnej płyty o wymiarach boków 2a i 2b (rys.2a) przy kącie nachylenia tworzącej zbocze niecki równym ψ. Z uwagi na symetrię rzutu poziomego, prosta dzieląca pole fundamentu na dwie równe części pokrywa się z osią $S_{\bar{\xi}}$, przy czym ω=0. Ze wzoru (9) otrzymamy zatem:

$$\varphi = \frac{\theta}{C_p} \cdot \frac{\sin(\psi)}{2b(a^2+b^2)} \cdot [a^2(2+tg^2(\psi)) - 3b^2].$$

Przyjmując przykładowo kąt ψ =45° uzyskamy

$$\varphi = \frac{3\sqrt{2}\theta \cdot (a^2-b^2)}{4C_p b(a^2+b^2)}.$$

Dla porównania, w przypadku $\varepsilon<\varepsilon_{gr}$ na całym obszarze rzutu poziomego fundamentu, otrzymany w [6] kąt obrotu rozpatrywanego fundamentu określa wyrażenie:

$$\varphi = \frac{\varepsilon \cdot (a^2-b^2)}{2(a^2+b^2)}.$$

Przykład 2. Rozpatruje się fundament w postaci płyty prostokątnej z prostokątnym otworem umieszczonym niesymetrycznie (rys.2b). Jest to zadanie analizowane w pracy [6] dla $\varepsilon<\varepsilon_{gr}$. Dla geometrii podanej na rys.2b ze wzoru (9) otrzymamy:

$$\varphi = 0.0009075\frac{\theta}{C_p}[S_{x_o}^{(1)}\sin(\psi + 0.0207) - S_{y_o}^{(1)}\cos(\psi + 0.0207)].$$

Dla porównania w [6] dla $\varepsilon<\varepsilon_{gr}$ na całym obszarze fundamentu w analizowanym zadaniu otrzymano dla kąta obrotu fundamentu wyrażenie $\varphi=-0.0051\cdot\varepsilon\sin(\psi+0.0207)\cos(\psi+0.0207)$. Ekstremalne wartości przemieszczeń Δ_i wyznaczone dla trzech wybranych punktów fundamentu, liczone prostopadle do kierunku promienia wodzącego punktu r_i (rys.2b) wynoszą: $\Delta_1=1164.87\cdot\theta/C_P$, $\Delta_2=1111.16\cdot\theta/C_P$, $\Delta_3=1432.03\cdot\theta/C_P$.

Przykład 3. Dla rusztu fundamentowego z rys.3 określono wartości przemieszczeń punktów rzutu poziomego wywołanych poziomym rozluźnieniem podłoża. Do obliczeń przyjęto:
- kierunek tworzącej niecki $\psi=45°$,
- grunt grupy konsolidacji C o $\Phi=19°$, $E_o=26$ MPa, $c=30$ kPa, $\gamma=22$ kN/m³,
- nacisk budynku na grunt $\sigma=200$ kPa,
- współczynnik poziomej podatności gruntu przyjęto według [5] równy $C_p=0.4\,C_O$ (C_O - współczynnik pionowej podatności podłoża określony według [9]).

Przyjmując globalny układ współrzędnych XOY z początkiem w punkcie O dla przyjętych danych liczbowych i podanej na rys.3 geometrii rusztu wyznaczymy: $F=116.7m^2$, $x_0=13.1769m$, $y_0=5.4595m$, $\theta=60kPa$, $C_0=20MN/m^3$, $C_p=8.0MN/m^3$, $J_S=8560.1325m^4$, $\omega=-0.013021rd$, $l_o=13.30534m$, $F_1=58.35m^2$, $S_{x_0}^{(1)}=-49.3500m^3$, $S_{y_0}^{(1)}=-365.3074m^3$. Wobec tego ze wzoru (9) otrzymamy:

$$\varphi = \frac{2\theta}{C_p}\cdot\frac{(-49.3500)\sin(\psi+\omega)-(-365.3074)\cos(\psi+\omega)}{8560.1325} = 3\,84256\cdot10^{-4}\,\text{rd}$$

czyli $\varphi=0.02202°=1'19''$. Ponieważ promienie wodzące punktów O,A,B,C względem środka obrotu fundamentu S mają długości $\rho_O=15.6736m$, $\rho_A=12.6470m$, $\rho_B=12.8161m$, $\rho_C=15.8104m$, zatem przemieszczenia punktów narożnych fundamentu mierzone w kierunku prostopadłym do ich promieni wodzących wynoszą odpowiednio: $\Delta_O=6.022mm$, $\Delta_A=4.860mm$, $\Delta_B=4.925mm$, $\Delta_C=6.075mm$.

LITERATURA

[1] Andermann F.,Fedorowicz J.,Fedorowicz L.: Wpływ ściągów fundamentowych na ograniczenie odkształcenia kondygnacji piwnicznej w poziomie posadowienia. Prace ITB, nr 1÷2 1991, s.15÷21.

[2] Andermann F., Fedorowicz J., Fedorowicz L.: Efektywność stosowanych rusztów fundamentowych pod monolityczną kondygnacją piwniczną przy ukośnym rozluźnieniu

terenu. Materiały IV Konf. Nauk.Techn. "Budownictwo na Terenach Górniczych". Kamień k.Rybnika, maj 1988r., s.105÷116.

[3] Andermann F.,Fedorowicz J.,Fedorowicz L.: Badania numeryczne nad wpływem ściągów przekątnych i sztywności kondygnacji piwnicznej na pracę rusztu fundamentowego przy ukośnym rozluźnieniu podłoża gruntowego. OTG, nr 85, 1988, s.10÷17.

[4] Andermann F.,Fedorowicz L.,Fedorowicz J.: Wpływ ściągów przekątnych na odkształcalność rusztu fundamentowego pod budowlą o konstrukcji ścianowej. Materiały V Konf. Nauk.-Techn. "Budownictwo na Terenach Górniczych". Kamień k.Rybnika, maj 1990r., s.179÷188.

[5] Müller F.P.: Baudynamik. Beton-Kalender, 1978, Teil II.

[6] Fedorowicz J.,Fedorowicz L.: Obroty fundamentów posadowionych na poziomo deformującym się podłożu górniczym. Przegląd Górniczy nr 8, 1992, s.23÷25.

[7] Kwiatek J.: Wybrane problemy geotechniki terenów górniczych. Wyd. PAN, Wrocław 1982.

[8] Gil-Kleczeńska B., Kwiatek J.: Oddziaływanie między fundamentami rusztowymi budowli a podłożem górniczym. Wyd. PAN, Wrocław 1987.

[9] Wytyczne projektowania budynków o ścianowym układzie nośnym podlegających wpływowi eksploatacji górniczej. Instrukcja 168. Wyd. ITB, Warszawa 1989.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Bielak

Wpłynęło do Redakcji dnia 30.05.1995r.

Abstract

There was described a method of evaluating of value of rotatio angle around vertical axis of foundations with an arbitrary shape and influenced on a horizontal subsoil`s loosening. It was assumed that the foundation structure formed stiff body in a foundation plane and the subsoil is homogeneous a known coefficient of horizontal flexibility. There was investigeted the extremal case of the horizontal subsoil loosening influence on the foundation assuming that the magnitude of the loosening is bigger than the limit value on whole space of the foundation plane and shear strains in the foundation foot are constant and equal to the subsoil shearing strengh. The solution of angle value evaluating was illustrated with three numerical examples.