

Zbigniew JEZIENICKI

Zbigniew KOŁACZ

OKREŚLENIE KONTAKTOWYCH SIŁ STYCZNYCH I NORMALNYCH
W ŁAWACH FUNDAMENTOWYCH POSADOWIONYCH NA POZIOMO
ROZLUŻNIANYM PODŁOŻU GÓRNICZYM

Streszczenie. W pracy podano propozycję obliczania sił wewnętrznych w ławach fundamentowych posadowionych na rozluźnionym podłożu. Podano wzory na obliczanie rozkładu sił normalnych i stycznych w podstawie ławy oraz na dodatkowy moment zginający w ławie wynikający z rozluźnienia podłoża. Proponowany sposób obliczeń jest rozwiązaniem przybliżonym, odpowiadającym poczynionym założeniom, przyjętym na podstawie przeprowadzonych badań modelowych.

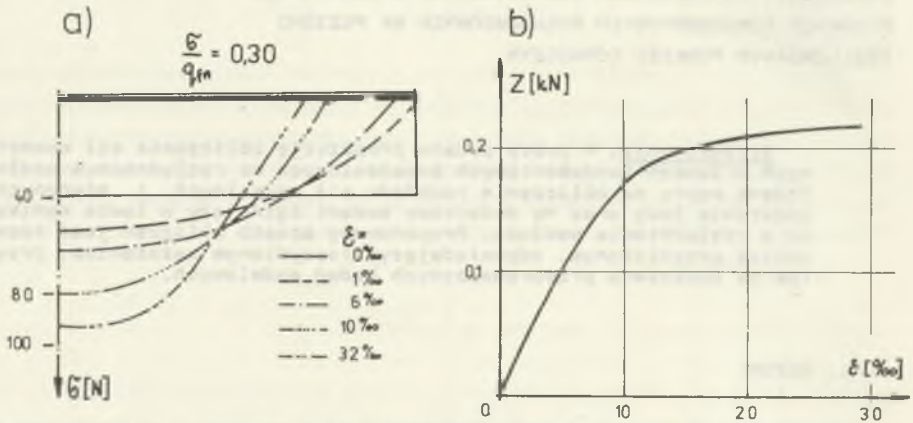
1. WSTĘP

Zagadnienie współpracy ławy fundamentowej z poziomo rozluźnianym podłożem górniczym było już niejednokrotnie rozpatrywane [2, 4, 5, 6, 7]. Podano szereg sposobów określania sił wewnętrznych w ławie, przyjmując stałą wartość średnich naprężeń normalnych w podstawie ławy przed i w trakcie deformacji podłoża, występowanie stałej warstwy amortyzującej [6, 7] lub bryły współpracy [2]. Wielkością charakterystyczną tych metod jest graniczne rozluźnienie podłoża ϵ_{gr} , przy którym dochodzi do stabilizacji siły rozrywającej fundament (w [2] $\epsilon_{gr} = 2-3\%$ a w [5] $\epsilon_{gr} = 27-32\%$). Dalsze prace z tej dziedziny [4, 5] pomijają pojęcie warstwy amortyzującej, przywiązując szczególną wagę do przegrupowania kontaktowych sił normalnych w trakcie rozluźnienia podłoża. Niniejsza praca uwzględni przytoczone powyżej uwagi potwierdzone badaniami własnymi [1] i przedstawia propozycję analitycznego sposobu ujęcia zagadnienia.

2. BADANIA LABORATORYJNE

Przedmiotem badań było rozpatrzenie pracy sztywnej ławy fundamentowej usytuowanej równolegle do kierunku poziomych odkształceń podłoża o charakterze rozluźniającym. Do badań wykorzystano aparaturę opisaną szczegółowo w [5], w której podłożem ławy był suchy piasek. Metodyka i opis przeprowadzonych badań zostały przedstawione w [1]. Stosowany do badań model ławy pozwalał na pomiar kontaktowych sił normalnych w podstawie ławy oraz pomiar siły rozrywającej w połowie jej długości w trakcie narastania od-

rozluźniających podłoża. Przykładowe wyniki uzyskane w jednym z badań przedstawiono na rys. 1. Badania te potwierdziły fakt przemieszczania się kontaktowych sił normalnych w podstawie ławy w kierunku jej środka. Charakter tych przemieszczeń, jak również graniczna wartość rozluźnienia, przy których następowała stabilizacja siły rozrywającej, zależał od wyjściowego obciążenia ławy.



Rys. 1. Przykładowy wynik badań

a) zmiana rozkładu średnich naprężeń normalnych w podstawie ławy w trakcie rozluźnienia podłoża, b) zależność siły rozrywającej $Z = f(\varepsilon)$ w środkowym przekroju ławy

3. PROPOZYCJA ANALITYCZNEGO UJĘCIA ZAGADNIENIA

Wyniki przeprowadzonych badań jakościowych, których przykład zamieszczono w rozdziale 2 niniejszej pracy, a także uwagi z tej dziedziny zamieszczone w [4, 5, 6] potwierdzają fakt przegrupowywania się naprężeń kontaktowych normalnych na styku ławy fundamentowej z podłożem gruntowym podlegającym odkształceniom o charakterze rozluźniającym. Fakt ten powoduje, że ławy fundamentowe posadwione na takim terenie ulegają dodatkowemu zginaniu wynikającemu z mimośrodowości działania pomiędzy wypadkową obciążenia zewnętrznego a wypadkową reakcji podłoża. W celu matematycznego ujęcia tego zjawiska rozpatrzono ławę sztywną posadwioną na powierzchni ($D=0$) rozluźnianego podłoża bezkohezyjnego ($c=0$) o długości całkowitej $L=2l$ i szerokości b obciążoną siłami równomiernie rozłożonymi $q=const$ o wartości wypadkowej $Q_c = 2Q$. W stanie wyjściowym ($\varepsilon=0$) przyjęto równomierny po długości rozkład naprężeń kontaktowych normalnych:

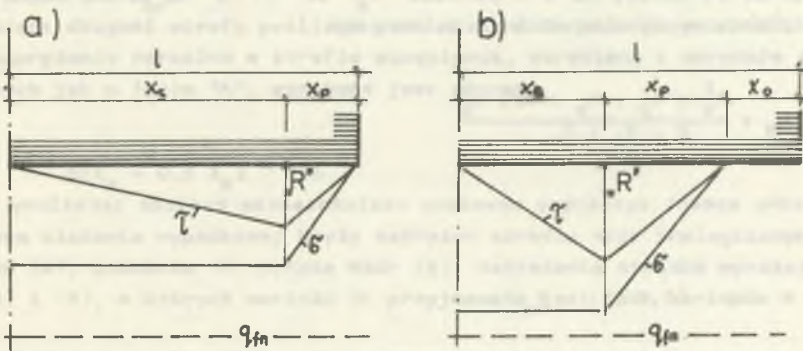
$$\sigma_0 = \frac{Q_c}{F} = \frac{2Q}{Lb} = \frac{2Q}{2l b} = \frac{Q}{lb}$$

Ze względu na symetrię ławy oraz pokrywanie się środka odkształceń podłoża z osią ławy rozpatrzono połowę ławy o długości l obciążoną wypadkową siłą Q przyłożoną w odległości $0,5 l$ od osi ławy. Założono niezmiennosc cech gruntu podłoża pod ławą w trakcie narastania odkształceń oraz przyjęto hipotezę potwierdzoną badaniami [6] o stopniowym, w miarę wzrostu odkształceń rozluźniającym, wypełnianiu się granicznej bryły naprężeń normalnych, przy czym graniczne naprężenie średnie nie może przekroczyć wartości q_{fn} określonych zgodnie z [3]. Do analizy zastosowano opis rozkładu naprężeń kontaktowych normalnych w trakcie narastania odkształceń podłoża w postaci trapezu. Strefę, w której naprężenia kontaktowe normalne charakteryzują się wartością stałą, nazwano strefą szepienia o długości x_g , natomiast strefę, w której naprężenia maleją, strefą poślizgu o długości x_p . Można tutaj wyróżnić ponadto trzecią strefę, w której ława traci kontakt z podłożem. W punkcie rozgraniczenia strefy szepienia i poślizgu "R" grunt osiąga wytrzymałość na ścinanie. Jego miarą jest wielkość przesunięcia u_{gr} uzyskana w chwili ścięcia w wielociętym aparacie prostego ścinania, którą należy określić z laboratoryjnych badań gruntu podłoża ławy. Jest to więc wielkość charakterystyczna dla poszczególnych rodzajów gruntów. Konsekwencją opisanych powyżej uwag jest rozróżnienie dwóch faz pracy ławy:

A - faza tworzenia się strefy poślizgu,

B - faza przesuwania się strefy poślizgu i tworzenia strefy utraty kontaktu ławy z podłożem.

Odpowiadające tym fazom rozkłady naprężeń kontaktowych normalnych i stycznych przedstawiono na rys. 2a i b.



Rys. 2. Rozkłady naprężeń kontaktowych normalnych i stycznych
a) w fazie A, b) w fazie B

3.1. Praca ławy w fazie "A"

Bazując na powyżej przytoczonych uwagach można określić rozkład naprężeń kontaktowych normalnych w podstawie ławy z warunku równowagi sił:

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 - \frac{x_{pmax} \cdot \varepsilon}{2 \cdot l \cdot \varepsilon_{kr}}} \leq \sigma_{fn} \quad (1)$$

gdzie:

σ - naprężenie pod ławą w strefie scepzenia [MPa],

σ_0 - naprężenie pod ławą w stanie $\varepsilon=0$ [MPa],

l - połowa długości ławy [m],

ε - wartość odkształceń rozluźniających podłoża

ε_{kr} - wartość odkształceń rozluźniających podłoża na granicy faz współpracy w [%] określana ze wzoru:

$$\varepsilon_{kr} = \frac{U_{gr}}{1 - x_{pmax}} \quad (2)$$

x_{pmax} - maksymalna długość strefy poślizgu w [m] określona na podstawie badań modelowych [1] w postaci zależności:

$$x_{pmax} = \frac{0,5 \cdot b}{\operatorname{tg}^2(45 - \Phi/2)} \quad (3)$$

W strefie scepzenia naprężenia normalne $\sigma = \text{const}$, w strefie poślizgu naprężenia te maleją od σ w punkcie x_s do $\sigma = 0$ na końcu ławy. Miejsce ułożenia wypadkowej określa zależność:

$$x_w = \frac{x_s^2 + x_p \cdot x_s + 1/3 x_p^2}{2 \cdot x_s + x_p} \quad (4)$$

Dodatkowy moment zginający wywołany rozluźnieniem podłoża określony jest wzorem:

$$M = Q \cdot (0,5 \cdot l - x_w) \quad (5)$$

Wynikające z rozkładu naprężeń kontaktowych normalnych naprężenia kontaktowe styczne wyrażone są wzorami:

$$0 \leq x \leq x_s$$

$$\tau = \frac{x}{x_s} \cdot \sigma \quad (6)$$

gdzie:

$$\theta = k_3 \cdot \sigma \cdot \operatorname{tg} \varnothing \cdot \frac{\delta}{\delta_{kr}} \quad (7)$$

$$x_s \leq x \leq 1$$

$$\tau = \theta \cdot \frac{1-x}{x_p} \quad (8)$$

Maksymalna siła rozrywająca Z w połowie długości ławy wynosi:

$$Z = \frac{b \cdot 1}{2} \cdot \theta \quad (9)$$

gdzie:

x - odległość rozpatrywanego przekroju od osi ławy [m],

x_p - długość strefy poślizgu [m],

x_s - długość strefy szczenia [m],

\varnothing - kąt tarcia wewnętrznego gruntu,

k_3 - współczynnik redukcyjny wg [2] rys. 6.16,

σ - naprężenie pod ławą w strefie szczenia.

3.2. Praca ławy w fazie "B"

W fazie tej długość strefy szczenia x_s określa się ze wzoru:

$$x_s = \frac{U_{gr}}{b} \quad (10)$$

przy czym $\varepsilon \geq \varepsilon_{kr}$.

Natomiast długość strefy poślizgu jest stała i określa ją wzór (3). Średnie naprężenie normalne w strefie szczenia, określane z warunków analogicznych jak w fazie "A", wyrażone jest wzorem:

$$\sigma = \frac{Q}{b(x_s + 0,5 x_p)} \leq q_{fn} \quad (11)$$

Miejsce ułożenia wypadkowej bryły naprężeń określa wzór analogiczny ze wzorem (4), podobnie M wyraża wzór (5). Naprężenia styczne wyrażają wzory (6) i (8), w których wartość θ przyjmowana jest jako wartość:

$$\theta_{max} = k_3 \cdot \sigma \cdot \operatorname{tg} \varnothing$$

Siła rozrywająca Z określona jest wzorem:

$$Z = \frac{b(x_p + x_s)}{2} \cdot \theta_{max} \quad (12)$$

Faza "B" będzie występować do momentu, w którym naprężenie średnie osiągnie wartość q_{fn} . Stan taki nastąpi wtedy, gdy:

$$Q = q_{fn}(0,5 x_p + x_s) b \quad (13)$$

czyli dla:

$$x_{sgr} = \frac{Q}{b \cdot q_{fn}} - 0,5 x_p \quad (14)$$

Stąd można określić wartość ε_{gr} , dla którego osiągnięty zostanie graniczny stan nośności podłoża łąwy:

$$\varepsilon_{gr} = \frac{U_{gr}}{x_{sgr}} \quad (15)$$

3.3. Przykłady liczbowe

PRZYKŁAD 1

$\gamma = 16,5 \text{ KN/m}^3$, $\phi = 34^\circ$, $U_{gr} = 6,4 \text{ mm}$, $\sigma_0 = 0,15 \text{ MPa}$, $L = 10 \text{ m}$, $l = 5 \text{ m}$
 $b = 1,00 \text{ m}$, $Q = 0,750 \text{ MN}$, $q_{fn} = 0,257 \text{ MPa}$, $x_{pmax} = 1,79 \text{ m}$, $\varepsilon_{kr} = 1,99\%$

Faza	ε [‰]	σ [MPa]	x_s [m]	x_w [m]	m [m]	M [KNm]	σ [MPa]	Z [KN]
A	0	0,15	5,00	2,50	0	0	0	0
	1	0,165	4,10	2,28	0,22	165	0,031	76,75
	1,99	0,183	3,21	2,09	0,41	307,5	0,065	163,3
B	3,16	0,257	2,02	1,50	1,00	750	0,088	168

$$Z/Q = 0,224$$

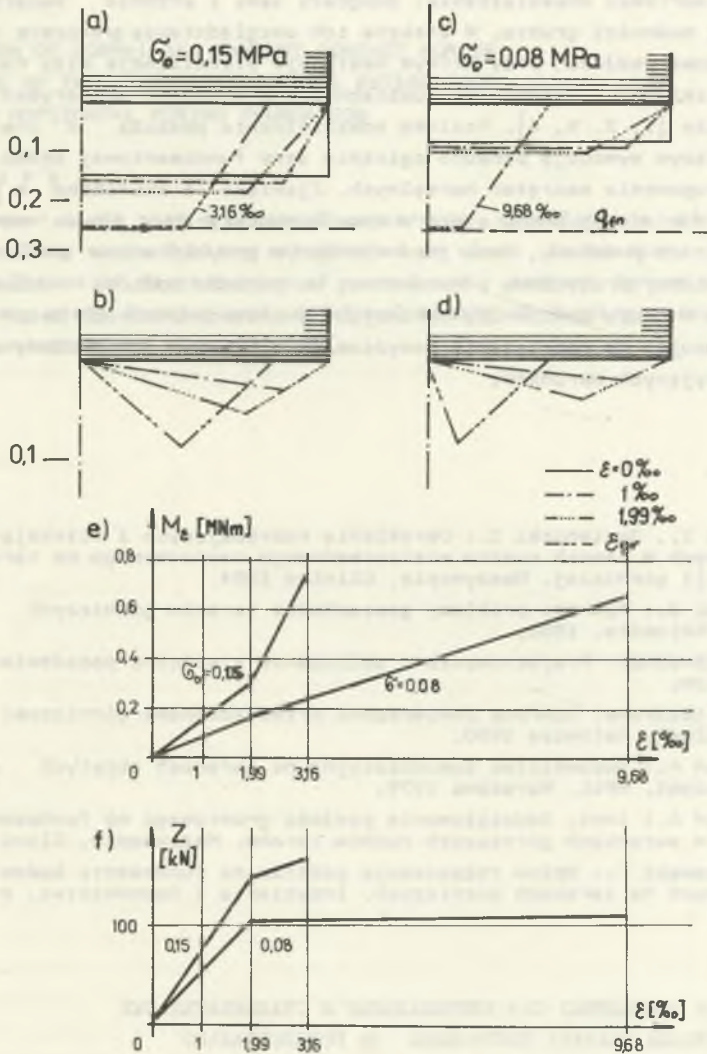
PRZYKŁAD 2

γ , ϕ , U_{gr} , L , l , b jak w przykładzie 1,
 $\sigma_0 = 0,08 \text{ MPa}$, $q_{fn} = 0,257 \text{ MPa}$, $x_{pmax} = 1,79 \text{ m}$, $\varepsilon_{kr} = 1,99\%$.

Faza	ε [‰]	σ [MPa]	x_p [m]	x_w [m]	m [m]	M [KNm]	Z [MPa]	KN [KN]
A	0	0,08	5,00	2,50	0	0	0	0
	1,00	0,088	4,10	2,28	0,22	84	0,021	52,25
	1,99	0,097	3,21	2,09	0,41	164	0,043	106,8
B	9,68	0,257	0,66	0,86	1,64	658	0,088	108,4

$$Z/Q = 0,271$$

Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawiono graficznie na rys. 3.



Rys. 3. Graficzne przedstawienie wyników przykładów liczbowych

a) i d) średnie naprężenia normalne, b) i e) naprężenia styczne, e) dodatkowy moment zginający, f) siła rozrywająca

4. WNIOSKI

Przedstawiona propozycja obliczania sił wewnętrznych w łąwach fundamentowych usytuowanych na poziomo rozluźnianym podłożu gruntowym uwzględnia wpływ wartości odkształcenia, długości łąwy i stopnia wykorzystania granicznej nośności gruntu. W efekcie ich uwzględnienia graniczne odkształcenie poziome podłoża, przy którym następuje stabilizacja siły rozrywającej, jest zmienne. Wyjaśnia to rozbieżności w wynikach eksperymentów różnych badaczy [1, 2, 5, 6]. Poziome odkształcenia podłoża o charakterze rozluźniającym wywołują ponadto zginanie łąwy fundamentowej będące efektem przegrupowania naprężeń normalnych. Zjawisko to zauważone w [4, 5], zostało w niniejszej pracy ujęte w sposób analityczny. Praca nie zamyka jednak całości problemu, lecz jest następnym przybliżeniem obliczeniowym do rzeczywistej pracy łąwy posadowionej na podłożu poziomo rozluźnianym. Poczynione w pracy założenia, wynikające z przeprowadzonych badań modelowych, powodują, że rozwiązanie powyższe ma charakter przybliżony adekwatny dla przyjętych warunków.

LITERATURA

- [1] Kołacz Z., Jezienicki Z.: Określenie rozrywających i ściskających sił poziomych w łąwach rusztu wielootworowego usytuowanego na terenie eksploatacji górniczej. Maszynopis, Gliwice 1984.
- [2] Kwiatek J.: Wybrane problemy geotechniki terenów górniczych. PAN Oddział Katowice, 1982.
- [3] PN-81/B-03020: Projektowanie i obliczanie statyczne posadowień bezpośrednich.
- [4] Praca zbiorowa: Ochrona powierzchni przed uszkodzami górniczymi, cz. 1, Wyd. Śląsk, Katowice 1980.
- [5] Rosikoń A.: Budownictwo komunikacyjne na terenach objętych uszkodzami górniczymi. WKiŁ, Warszawa 1979.
- [6] Rosikoń A. i inni: Oddziaływanie podłoża gruntowego na fundamenty budowli w warunkach górniczych ruchów terenu. Maszynopis, Gliwice 1980.
- [7] Wasilkowski F.: Wpływ rozpełniania podłoża na fundamenty budowli posadowionych na terenach górniczych. Inżynieria i Budownictwo, nr 7 i 10 1966.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ СИЛ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И СТАЛКИВАТЕЛЬНЫХ
В ФУНДАМЕНТОВЫХ СКАМЬЯХ ПОСТРОЕННЫХ НА ГОРИЗОНТАЛЬНО
ОСЛАБЛЯЕМОЙ ГОРНОЙ ОСНОВЕ

Р е з ю м е

В работе представлен способ вычисления внутренних сил в фундаментовых скамьях построенных на горизонтально ослабляемой горной основе. Представле-

ны образцы по которым можно вычислить распределение вертикальных и тангентальных сил в основе скамьи, а также добавочный момент связанный с ослаблением основы.

DEFINITION OF NORMAL AND TANGENT CONTACT FORCES
IN A BASE OF THE LONG STRIP FOOTING ESTABLISHED
IN SLACK HORIZONTAL MINING FOUNDATION

S u m m a r y

The paper deals with a proposal concerning calculations of internal forces in long strip footing established in slack foundation. Formulas for calculation of distribution of normal and tangent forces in a base of the long strip footing and additional moment of bending coming from slack foundation are also provided.