

Ireneusz Dyka¹
Piotr E. Srokosz¹

OBLICZENIA STATYCZNE FUNDAMENTÓW PŁYTOWO-PALOWYCH

STRESZCZENIE: W referacie przedstawiono zagadnienia związane z obliczeniami statycznymi płyt fundamentowych na podporach palowych. W analizach zastosowano procedurę iteracyjną wykorzystującą własną metodę obliczeń osiadań pali w grupie oraz klasyczną metodę wyznaczania sił wewnętrznych w sprężystych płytach na podłożu Winklera. Oceniono wpływ sztywności płyty fundamentowej oraz nadbudowy na rozkład i wartości sił wewnętrznych na wybranym przykładzie obliczeniowym. Przeanalizowano wpływ nierównomiernych osiadań poszczególnych pali w grupie na redystrybucję sił wewnętrznych w fundamencie.

1. Wprowadzenie

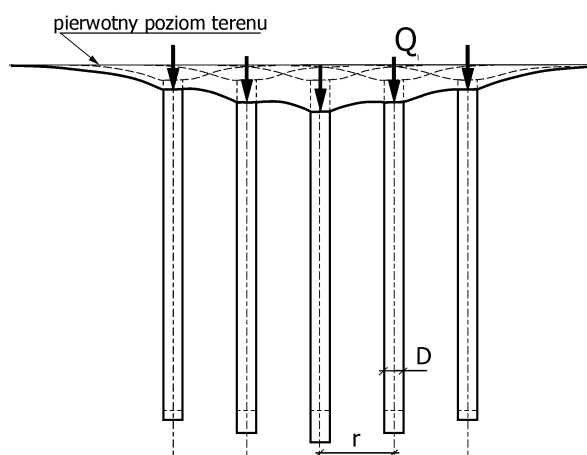
Duże obszary województwa warmińsko-mazurskiego obfitują w podłoża z gruntami słabonośnymi lub nośnymi, lecz bardzo niejednorodnymi. Wiele inwestycji realizowanych na tych obszarach wymusiło na projektantach posadawianie wznoszonych, bądź dobudowywanych obiektów na fundamentach płytowo-palowych. Realizacja większości z tych obiektów (najczęściej przemysłowych) ze względów technologicznych nakładała bardzo ostre wymagania dotyczące warunków II stanu granicznego użytkowania, w odniesieniu do wybranych fundamentów precyzyjnych maszyn. Niejednokrotnie fundamenty płytowo-palowe stosowano nawet tam, gdzie podłoże zbudowane było wyłącznie z warstw nośnych, lecz niejednorodność układu warstw i różnorodność występujących tam gruntów mogła wywołać, w przypadku posadowienia

¹ dr inż., Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

bezpośredniego, takie różnice osiadań, które mogły doprowadzić nie tylko do wadliwej pracy, ale też do trwałych uszkodzeń zainstalowanych urządzeń.

W projektowaniu tego typu posadowień najczęściej korzysta się z komercyjnych programów komputerowych do statyki sprężystych płyt na sprężystych podporach ([11]). Niestety kwestia realnego zamodelowania współpracy fundamentu z podłożem gruntowym (np. poprzez „rzeczywiste” wartości parametrów stosowanych w obliczeniach modeli) pozostaje wciąż aktualnym problemem (zmartwieniem) użytkownika ([11]). Jednocześnie różnorodność metodyk obliczeniowych [4,5,11] (z niewątpliwymi ich zaletami, ale też i wadami) zwykle wprawia projektanta w zakłopotanie.

To właśnie osiadania fundamentu w dużym stopniu decydują o rozkładzie i wielkości sił przekrojowych w fundamencie i w konstrukcji nadbudowy. W przypadku fundamentów palowych problem oszacowania realistycznych osiadań jest bardziej skomplikowany niż w przypadku fundamentów posadowionych bezpośrednio. Wynika to między innymi z wzajemnego oddziaływania między palami, które determinuje pracę pali w grupie (rys.1).



Rys. 1. Schemat osiadania pali w grupie

Biorąc pod uwagę fakt, że w szerokiej gamie metod obliczeniowych brakuje propozycji pozwalającej uwzględnić realistyczną pracę pali w grupie oraz uwzględniającą wpływ sztywności płyty na ich zachowanie, autorzy zdecydowali podać niniejszą iteracyjną procedurę obliczeniową, stosowaną przez nich w praktyce inżynierskiej.

2. Własna metodyka obliczeniowa

W proponowanej procedurze obliczeniowej autorzy wykorzystali własne programy komputerowe [1,10].

Program do obliczeń statycznych płyt sprężystych [10] bazuje na jednoparametrowym modelu podłoża gruntowego Winklera-Zimmermanna.

Uwzględniając współpracę fundamentu płytowego z fundamentem pośrednim (pale) reakcje na podpory palowe (sprężyny) wyznaczane są z podstawowej zależności Winklera po uprzednim wyliczeniu całkowitych odkształceń układu (osiadań), wyznaczonych z równania różniczkowego ugięcia płyty na podłożu sprężystym:

$$\frac{\partial^4 s(x,y)}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 s(x,y)}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 s(x,y)}{\partial y^4} + \frac{C(x,y)}{N(x,y)} s(x,y) = \frac{p(x,y)}{N(x,y)} \quad (1)$$

gdzie

N – sztywność płyty,

C – współczynnik sprężystości podpór,

p - obciążenie podłoża,

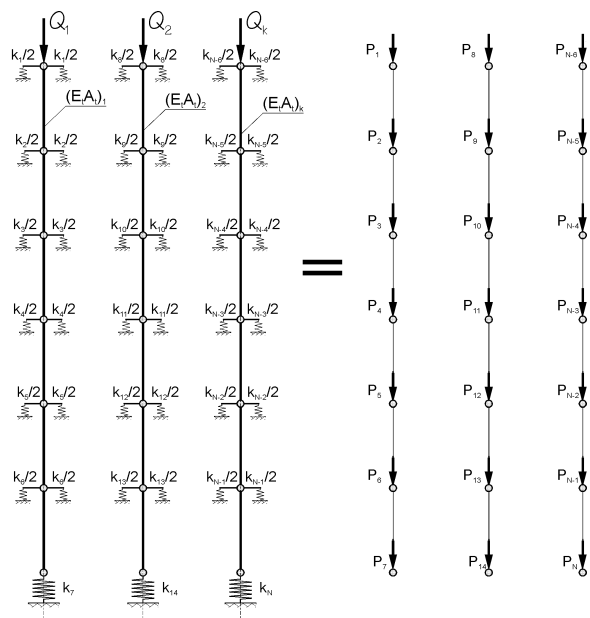
s – ugięcie (osiadanie).

Program [10] układa i rozwiązuje równania postaci (1) stosując metodę różnic skończonych (MRS) (implementacja w Delphi® propozycji [9]).

Do obliczeń osiadań poszczególnych pali posłużył autorski program komputerowy GRUPAL [1]. Zastosowana w nim metoda [2,3] uwzględnia nieliniową charakterystykę zależności przemieszczenie-osiadanie dla pala pojedynczego i oddziaływanie między palami w grupie przy założeniu małych odkształceń ($G_{\max}$ – moduł odkształcenia postaciowego dla małych odkształceń).

Program służy do obliczania osiadania pali pojedynczych oraz pali w grupie obciążonych siłami pionowymi w dowolnie uwarstwowionym podłożu gruntowym.

Na rys. 2 przedstawiono zastosowany sposób dyskretyzacji pali w grupie. Pojedynczy pal przyjęto jako odkształcalny pręt osiowo ściskany. Pal podzielony jest na odcinki. W węzłach umieszcza się podpory sprężyste modelujące opór gruntu.



Rys. 2. Sposób dyskretyzacji pali w grupie w programie GRUPAL

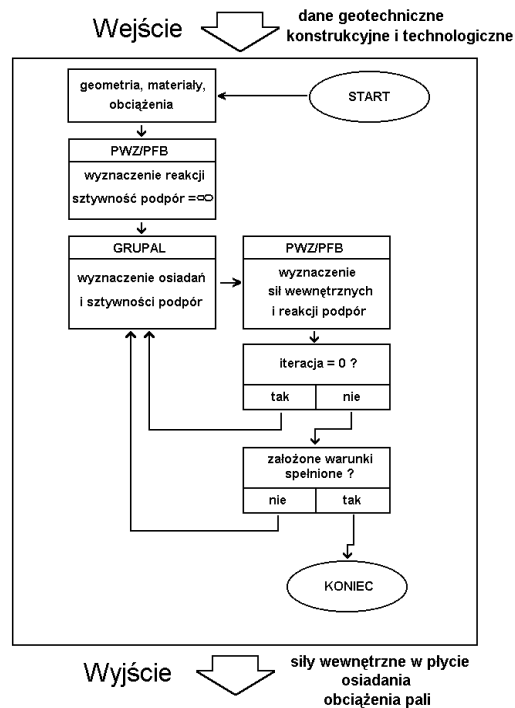
Obliczenia przeprowadza się dla kolejnych przyrostów obciążenia, w każdym kroku obliczana jest nowa wartość modułu odkształcenia dla aktualnego naprężenia w danym węźle. Wraz ze wzrostem obciążenia następuje mobilizacja oporów gruntu.

Obliczenia programem GRUPAL wykonywane są przy założeniu fundamentu wiotkiego.

W celu uwzględnienia współpracy między palami a płytą o określonej sztywności proponuje się iteracyjną, sekwencyjną, pracę wymienionych wyżej dwóch programów. W iteracji zerowej wyznaczane są wartości

reakcji z fundamentu płytowego na podpory palowe, traktowane jako nieskończenie sztywne. Reakcje te obciążają rzeczywisty układ pali w grupie wywołując ich osiadania.

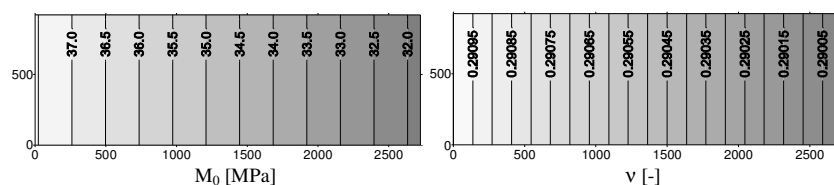
Wyliczone charakterystyki sprężyste uwzględniane są następnie w iteracji pierwszej, w obliczeniach sił wewnętrznych fundamentu płytowego, jako pierwsze przybliżenie parametrów podpór sprężystych. Wyliczanie wartości reakcji podpór palowych, ich osiadań, charakterystyk sprężystości i sił wewnętrznych w płycie powtarzane jest do momentu spełnienia założonych warunków zgodności (np. stabilizacja wartości reakcji podpór). Schemat algorytmu przedstawia rys. 3.



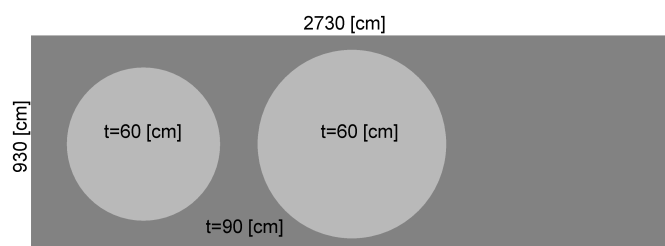
Rys. 3. Algorytm obliczeń.

3. Przykład obliczeń

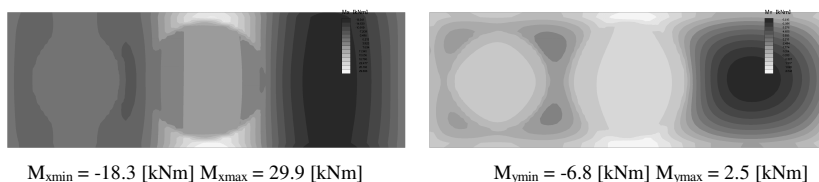
Wpływ uwzględnienia pracy pali w grupie oraz sztywności fundamentu płytowego przedstawiono na przykładzie wyników obliczeń statycznych (trzech początkowych iteracji) fundamentu pod zespół maszyn (rys.5,6). Wybrano jeden z dziewięciu wariantów obciążeń – obciążenie równomiernie rozłożone na całej powierzchni płyty, przedstawiając rozkład wartości momentów zginających w przypadku braku podpór palowych (rys. 4 przedstawia rozkład wybranych parametrów gruntów w podłożu) oraz w przypadku iteracyjnego uwzględnienia pracy pali w grupie (rys. 7-9, ciemniejsze odcienie szarości oznaczają wartości mniejsze).



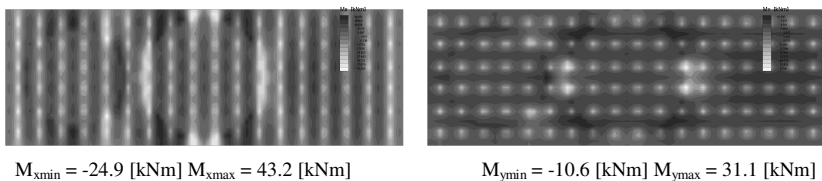
Rys. 4. Uśrednione parametry podłoża



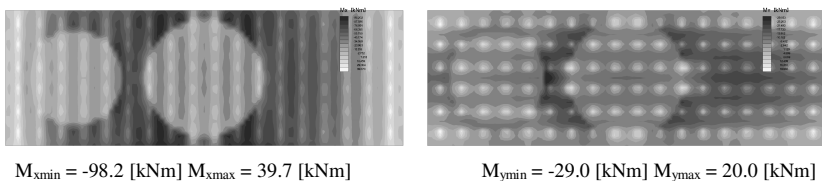
Rys. 5. Geometria płyty.



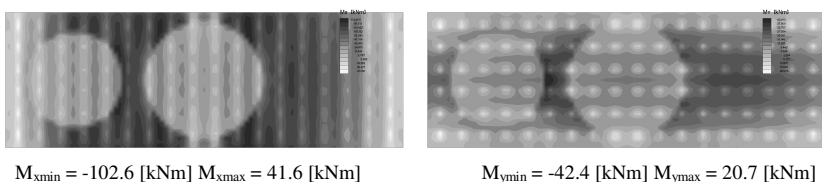
Rys. 6. Posadowienie bezpośrednie. Rozkład momentów zginających.



Rys. 7. Iteracja 0. Rozkład momentów zginających.

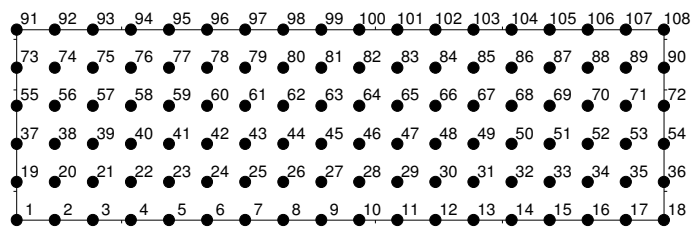


Rys. 8. Iteracja 1. Rozkład momentów zginających.

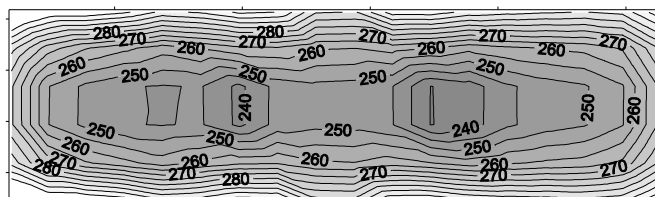


Rys. 9. Iteracja 2. Rozkład momentów zginających.

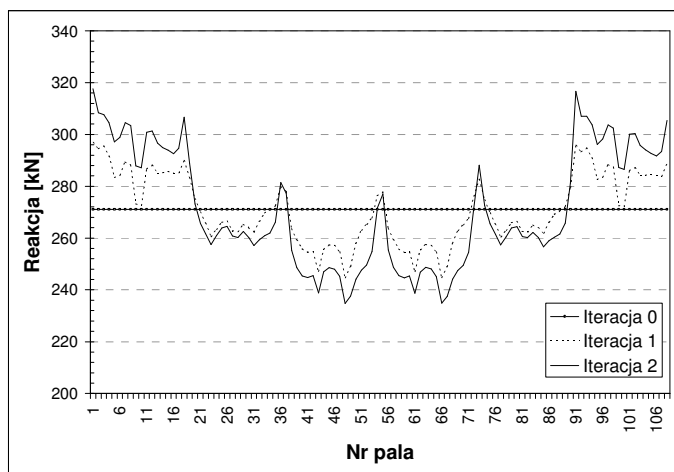
Na rys. 9-11 przedstawiono rozmieszczenie pali pod płytą oraz wartości obciążeń (rys. 10 – rozkład obciążeń w planie, rys. 11 – zmiany wartości w kolejnych iteracjach). Jak można zauważyć, kolejne iteracje zróżnicowały rozkład wartości obciążeń pali, redukując je w polach środkowych pod płytą, a koncentrując w strefach przykrawędziowych. Związane jest to właśnie z redystrybucją sił w układzie płyta-pale wywołaną wpływem sztywności płyty, jak i zwiększonymi osiadaniami pali wewnętrznych w stosunku do skrajnych (praca pali w grupie). Zestawienie ekstremalnych wartości obciążeń pali przedstawiono w tab.1.



Rys. 9. Układ podpór palowych



Rys. 10. Rozkład wartości obciążeń podpór palowych [kN] (iteracja 2).



Rys. 11. Wartości obciążeń podpór palowych.

Tabela 1. Zestawienie ekstremalnych wartości reakcji na podpory palowe.

	Iteracja 0	Iteracja 1	Iteracja 2
$R_{\min}$ [kN]	271.1	244.6	234.8
$R_{\max}$ [kN]	271.1	296.9	317.6

4. Wnioski

Przedstawiona iteracyjna metoda wyznaczania wartości osiadań podpór palowych oraz sił wewnętrznych w płytach fundamentowych, uwzględniająca współpracę pali w grupie oraz wpływ sztywności nadbudowy była już tematem propozycji przedstawionej w [6]. Autorzy rozbudowali procedurę iteracyjnego przekazywania wzajemnych wpływów pomiędzy podporami palowymi a płytą fundamentową o :

- współpracę pali w grupie;
- wpływ zmiennej sztywności nadbudowy (np. różnej grubości płyty).

Praktyczne wykorzystanie przedstawionego algorytmu, związane ze współdziałaniem dwóch różnych aplikacji komputerowych, wymagało tylko ujednolicenia formatu transmisji danych pomiędzy programami.

Literatura

- [1] Dyka I. : Program GRUPAL v 1.4. Obliczanie osiadań grup palowych, 2001;
- [2] Gwizdała K., Dyka I.: Analityczna metoda prognozowania krzywej osiadania pala pojedynczego. Inżynieria i Budownictwo, Nr 12/2001, s. 729-733;
- [3] Gwizdała K., Dyka I.: Estimation of settlements of piles in group. Proceedings of the 9th Conference on Piling and Deep Foundations, Nice, 3/4/5 June 2002;
- [4] Kosecki M. : Ocena możliwości zastosowania wzorów Boussinesqa do obliczania fundamentów płytowo-palowych. Inżynieria i Budownictwo nr 6/2004r., s. 335-338;

- [5] Kosecki M. : Obliczanie fundamentów płytowo-palowych według założeń podłoża dwuparametrowego. Inżynieria i Budownictwo nr 12/2001, s. 725-728;
- [6] Krasieński A., Świniański J., Gwizdała K., Tejchman A.: Obliczanie fundamentów palowych z uwzględnieniem zmiennej podatności pali. Materiały I Problemowej Konferencji Geotechniki: „Współpraca budowli z podłożem gruntowym”, Białystok-Wigry 1998;
- [7] Krasieński A.: Obliczenia statyczne fundamentów palowych. Seminarium „Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych”, Gdańsk, 25 czerwca 2004;
- [8] Meyer Z., Chruścielwicz S.: Ocena zmian projektowych warunków posadowienia sztywnego ustroju płytowo-palowego wspierającego konstrukcję komina. Konferencja naukowo-techniczna Awary Budowlane Szczecin – Międzyzdroje, maj 2003;
- [9] Rosieński B. (praca zbiorowa) : Fundamenty. Projektowanie i wykonawstwo. Arkady, Warszawa, 1976;
- [10] Srokosz P.E. : Program PWZ/PFB v.3.5 Płyta na sprężystym podłożu, 2002;
- [11] Świniański J. : Ocena podatności podłoża przy wymiarowaniu płyt fundamentowych. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 5/2003, s. 314-319.

STATICAL CALCULATIONS OF PILE-PLATE FOUNDATIONS

Summary

In the paper the problems of statical calculations of foundation plates based on piles are presented. In the analyses an iterative procedure of determination of settlements of piles working in a group and classical method of evaluation of internal forces in elastic plates based on Winkler's basis was exploited. The influence of plate's rigidity and superstructure on internal forces distribution on the chosen example is presented. The influence of irregular piles settlement distribution on redistribution of internal forces in foundation plate was observed.