

Piotr RENKE\*  
Politechnika Śląska

## POLETKO DOŚWIADCZALNE DO BADAŃ PRÓBNEGO OBCIĄŻENIA GRUNTU

**Streszczenie.** Najdokładniejszym sposobem opracowania relacji między obciążeniem a osiadaniem jest próbne obciążenie. Uzyskany wynik  $q - s$  przedstawia realną odpowiedź gruntu. Na tej podstawie można stworzyć prosty sprężysty model gruntu, który jest celem badań. Aby ten cel zrealizować, należy wykonać badania in situ. Konieczne jest zatem wybranie odpowiedniego miejsca do przeprowadzenia badania i ustalenia geometrii stempli badawczych (modeli fundamentów) oraz sposobu i zakresu planowanych obciążeń. W artykule opisano warunki gruntowe wybranego poletka badawczego, stanowiska badawcze i ich rozmieszczenie oraz przedstawiono wyniki obliczeń nośności podłoża gruntowego oraz mapę naprężeń przy badaniach próbnego obciążenia.

## TEST FIELD FOR TRIAL SOIL LOADING TESTS

**Summary.** The most accurate method for describing „load – settlement” relation is a trial loading test. The result “ $q - s$ ” describes the real soil response to loading. On the basis of this description it is possible to create simple elastic soil model that is the aim of the experiments. To obtain this aim in-situ tests are needed. So it is necessary to choose a correct place for trial loading tests, to determine diameters of experimental stamps (foundations models) as well as the method and the range of loading. The paper presents subsoil conditions of the selected test field, the test field, computational results of subsoil bearing capacity and the map of stresses at trial loading tests.

### 1. Wprowadzenie

Przygotowując badanie próbnego obciążenia jednym z ważniejszych elementów jest wybór miejsca i rozmiarów poletka doświadczalnego. Ma to szczególne znaczenie w przypadku realizowania badań na wielu stanowiskach badawczych oraz planowania kolejnych powtórzeń. Wynika to z faktu, że każdy wynik doświadczenia obarczony jest niepewnościami pomiarowymi. Powtarzając dane badanie (wykonując pomiar bliźniaczy), możemy oszacować czynnik losowy, i tym samym uzyskać wynik bardziej wiarygodny [7].

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jacek Pieczyrak, prof. Pol. Śląskiej

Poletko doświadczalne powinno być na tyle małe, aby w jego obrębie warunki gruntowe były w miarę stałe. Jednocześnie powinno ono być na tyle duże, aby naprężenia w gruncie wywołane zarówno przez sąsiadujące ze sobą modele fundamentów, jak i pale kotwiące wzajemnie się nie nakładały.

Ze względów technicznych należy w rozsądnej odległości wykonywać pale kotwiące (dla zamocowania konstrukcji oporowej), bowiem przy znacznej ich odległości wzrastają momenty zginające w belkach oporowych.

W niniejszym artykule przedstawia się ustalenia, dotyczące poletka doświadczalnego przewidzianego do przeprowadzenia próbnych obciążeń zagłębionego i niezagłębionego modelu stopy i ławy fundamentowej.

## 2. Modele fundamentów

Podczas badania planuje się zastosowanie dwóch modeli fundamentów, ławy i stopy fundamentowej. Dla każdego typu przewiduje się badanie fundamentu niezagłębionego ( $D=0$ ) i fundamentu zagłębionego ( $D/B=0,6$ ).

Model ławy fundamentowej o wymiarach boków podstawy  $L=223,6$  cm i  $B=44,7$  cm ( $L/B=5$ ,  $A=L \times B=1\text{m}^2$ ) wykonany został z betonu B25, podłużnie zbrojonego prętami  $5\phi 16$  mm. Model stopy fundamentowej, o stosunku boków podstawy  $B/L=1$  ( $L=1$  m,  $B=1$  m), ma tę samą powierzchnię co ława, czyli  $A=L \times B=1\text{m}^2$ . Do wykonania modelu użyto tych samych materiałów co w przypadku ławy, lecz krzyżowo zazbrojonych prętów  $10\phi 8$  mm.

Krawędzie podstawy obu bloków (modeli fundamentów) zostały zabezpieczone na całym obwodzie przed uszkodzeniami mechanicznymi poprzez zamocowanie kątowników stalowych  $5 \times 50$  mm. Ponadto, w celu ułatwienia ich przemieszczeń zaprojektowane zostały pręty montażowe.

## 3. Podłoże gruntowe poletka doświadczalnego

W wyniku przeprowadzonych wierceń badawczych stwierdzono, że na wytypowanym poletku do badań zalega warstwa średnio zagęszczonego piasku średniego o miąższości 3,70 m, poniżej do głębokości 7,5 m warstwa iltu pylastego w stanie półzwartym lub twardoplastycznym, a do głębokości 9,0 m podłoże gruntowe buduje warstwa piasku drobnego średnio zagęszczonego. Względna miąższość warstwy piasku średniego, na którą przekazywane będzie obciążenie z modelu, przekracza 3,0 m. Na tej podstawie uznano, że

wpływ uwarstwienia jest tu bardzo niewielki. Zatem, do badań próbnego obciążenia wybrano poletko doświadczalne, w którego podłożu występuje jednorodna warstwa gruntu do głębokości przekraczającej 3,0 m. W przypadku podłoża uwarstwowionego bardzo trudno byłoby rozdzielić wpływy poszczególnych warstw. Parametry gruntu uzyskane na podstawie badań laboratoryjnych dla piasku średniego przedstawiają się następująco: średnica ziaren  $d_{50}=0,358$  mm, wskaźnik różnoziarnistości  $U=2,11$ , gęstość właściwa  $\rho_s=2,65$  g/cm<sup>3</sup>, stopień zagęszczenia  $I_D=0,50$ , gęstość objętościowa  $\rho=18,0$  g/cm<sup>3</sup>, spójność gruntu  $c=0$ , moduł sprężystości  $E=25\ 000$  kN/m<sup>2</sup>, współczynnik Poissona  $\nu=0,25$ , kąt tarcia wewnętrznego gruntu  $\phi=30^\circ$ .

#### 4. Rozplanowanie stanowisk badawczych

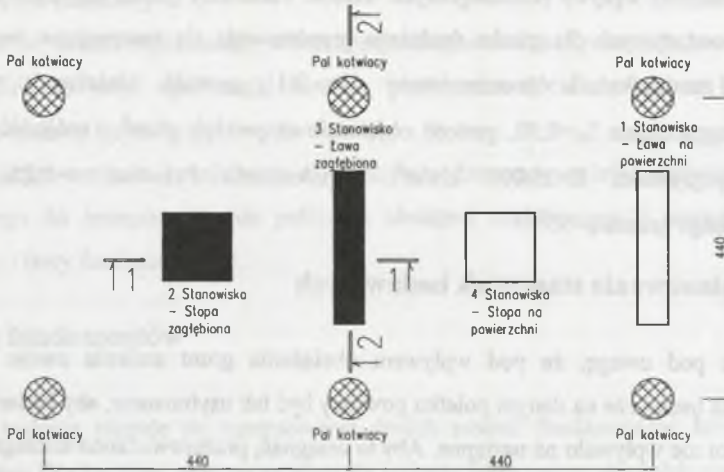
Biorąc pod uwagę, że pod wpływem obciążenia grunt zmienia swoje właściwości, stanowiska badawcze na danym poletku powinny być tak usytuowane, aby badanie na jednym stanowisku nie wpływało na następne. Aby to osiągnąć, przeprowadzono szczegółową analizę rozmieszczenia modeli i pali fundamentowych na poletku doświadczalnym. Danymi do obliczeń nośności granicznej podłoża są modele stopy i ławy fundamentowej oraz sześć pali fundamentowych. Na podstawie wyników obliczeń przyjęto optymalny rozstaw pali fundamentowych, dla których wykonano dalszą szczegółową analizę naprężeń pod fundamentami, sprawdzenie możliwości występowania wzajemnych oddziaływań elementów poletka badawczego oraz ostateczne wykonanie obliczeń ramy oporowej.

Obliczenia wzajemnego wpływu modeli i pali przeprowadzono dwoma sposobami: pierwszy z nich wykonany został w oparciu o przygotowany algorytm na podstawie wzorów składowych naprężenia [2], drugi natomiast przy użyciu programu Z\_Soil. W programie tym został założony płaski stan odkształcenia oraz użyto klasycznego modelu sprężysto – plastycznego Coulomba - Mohra [7] dla wszystkich obliczanych stanowisk.

Nośność graniczna [8] w przypadku zagłębionej stopy wyniesie  $q_{gr}^{STOPY} \approx 600$  kPa, a w przypadku zagłębionej ławy  $q_{gr}^{LAWY} \approx 300$  kPa. Ponieważ w obu przypadkach powierzchnia bloków fundamentowych wynosi 1m<sup>2</sup>, więc siła graniczna wyniesie odpowiednio:  $Q_{gr}^{STOPY} \approx 600$  kN i  $Q_{gr}^{LAWY} \approx 300$  kN.

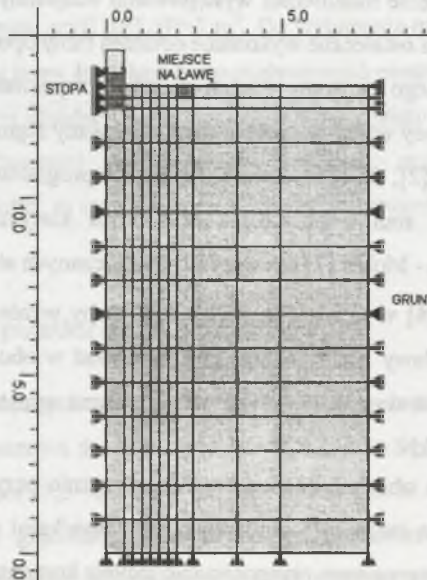
Wyniki wykonanych obliczeń za pomocą własnoręcznie przygotowanego algorytmu dla stanowiska z zagłębioną stopą były porównywalne z wynikami uzyskiwanymi w programie Z\_Soil. Wobec tego postanowiono przeprowadzić jedynie komputerowo pozostałe obliczenia.

Dla założonej geometrii poletka doświadczalnego (rys. 1) wytypowano dwa charakterystyczne przekroje : stopa – ława (1-1), ława – pal (2-2). Dla nich przeprowadzono obliczenia sprawdzające, czy mapy naprężeń wzajemnie na siebie na zachodzą.



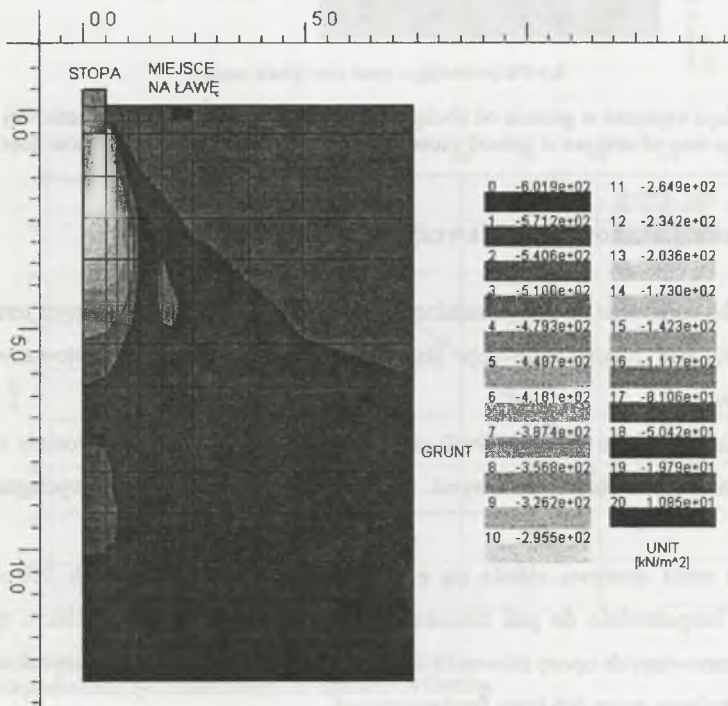
Rys. 1. Cztery stanowiska badawcze i zaznaczone przekroje obliczeniowe  
Fig. 1. Four test fields and marked computational section

Poniżej przedstawiono model gruntu wraz z obciążoną stopą fundamentową i zaznaczonym miejscem, gdzie w następnym badaniu postawiona zostanie ława fundamentowa (rys. 2).

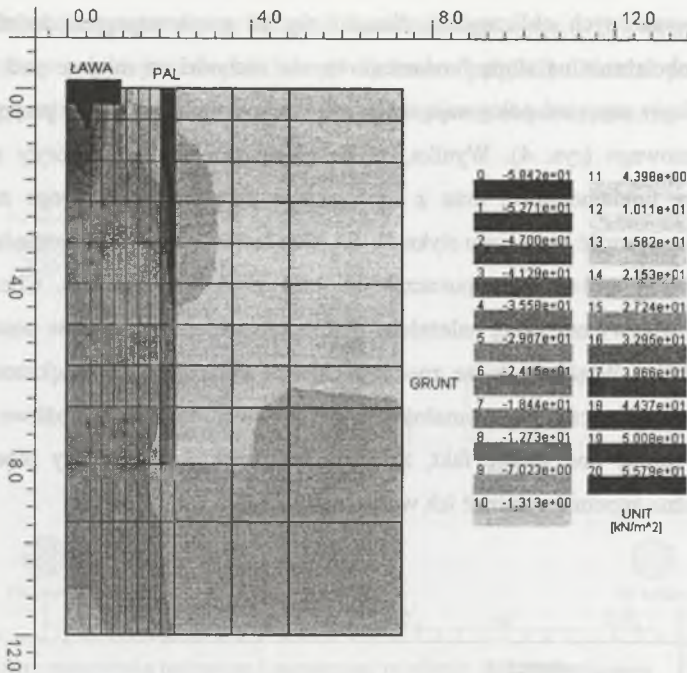


Rys. 2. Model gruntu i stopy fundamentowej  
Fig. 2. Models of soil and footing

Po przeprowadzonych obliczeniach okazało się, że mapa naprężeń dodatkowych od przyłożonego obciążenia na stopę fundamentową nie zachodzi na miejsce pod zaznaczoną ławą (rys. 3). Bryły naprężeń pokrywają się jednak w niewielkim stopniu w przypadku ławy i pala fundamentowego (rys. 4). Wynika, że na głębokości ok. 3,0 m bryły naprężeń: z wciskanej ławy fundamentowej oraz z wyciąganego pala fundamentowego zachodzą na siebie, uzyskując wartość w miejscu styku ok. 24 kPa. Jest to kompromis pomiędzy możliwie małymi wymiarami poletka a dopuszczalnymi naprężeniami w gruncie. Chcąc zupełnie wyeliminować wpływy naprężeń, należałoby dwukrotnie zwiększyć rozstaw poszczególnych elementów poletka. Wiąże się to ze znacznym, nawet kilkukrotnym, zwiększeniem uciążu pali fundamentowych oraz wytrzymałości ramy oporowej, co jest niemożliwe z przyczyn technicznych. Biorąc pod uwagę fakt, że naprężenia zachodzące między sobą są bardzo niewielkie, można zupełnie pominąć ich wpływ na badanie.



Rys. 3. Mapa naprężeń w gruncie wywołana przyłożonym obciążeniem do stopy fundamentowej  
 Fig. 3. The map of stresses in subsoil caused by load application to the footing



Rys. 4. Mapa naprężeń w gruncie od obciążenia przyłożonego do ławy fundamentowej i pala  
 Fig. 4. The map of stresses in subsoil caused by load application to the continuous footing and pile

## 5. Wykonanie stanowisk badawczych

Stanowisko badawcze do przeprowadzenia próbnych obciążeń na wybranym terenie składa się z sześciu pali fundamentowych, stalowej ramy oporowej i przygotowanych modeli fundamentów.

Pale fundamentowe o średnicy  $d=30$  cm i długości 9,0 m, wykonane zostały metodą jet-grouting i zazbrojone rurami stalowymi. Obliczeniowa nośność pali na wyciąganie wynosi  $N^w=500$  kN.

Stalowa rama oporowa składa się z podwójnych belek dwuteowych 320 dł. 5,50 m kotwionych bezpośrednio do pali fundamentowych oraz poprzecznych belek o tym samym przekroju, stanowiących oporę siłownika hydraulicznego. Tłok siłownika przyłożony został w punkcie centralnym stopy lub ławy fundamentowej.

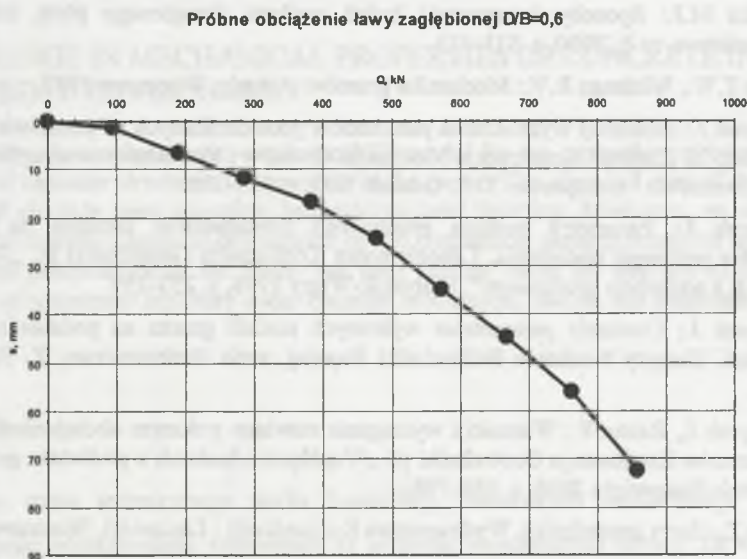
W każdym narożu modelu fundamentu przyłożony został jeden czujnik elektroniczny i dodatkowo po jednym czujniku na każdym palu.

## 6. Próbné obciążenie modelu ławy zagłębionej

Dla jednej serii badawczej przewiduje się próbné obciążenie dwóch typów fundamentów, ławy i stopy fundamentowej. Dla każdego typu wykonane zostanie badanie fundamentu nie zagłębionego ( $D=0$ ) i fundamentu zagłębionego ( $D/B=0,6$ ), zgodnie z rozmieszczeniem (rys. 1).

Przedstawione badanie jest próbą sprawdzenia zachowania się stanowiska badawczego podczas próbnego obciążenia modelu ławy zagłębionej. Badanie to przeprowadzono normową metodą stałych stopni obciążenia, gdzie każdy stopień obciążenia  $Q_1$  utrzymywano tak długo, aż prędkość osiadań fundamentu malała co najmniej do wartości  $0,05 \text{ mm}/10$  minut.

Wykonano dziewięć stopni obciążenia, rozpoczynając od siły  $95,5 \text{ kN}$ , a kończąc na  $859,4 \text{ kN}$  (rys. 5). Badanie zostało przerwane przy kolejnym dziesiątym stopniu obciążenia, kiedy przy zwiększaniu siły wygięły się belki przytrzymujące siłownik.



Rys. 5. Zależność eksperymentalna  $q$ - $s$  dla modelu ławy  
Fig. 5. Experimental  $q$ - $s$  relationship for continuous footing

Z uwagi na fakt, że uzyskana wartość  $q^{\text{LAWY}} = 859,4 \text{ kN}$  jest dużo większa od obliczonej nośności granicznej ławy  $q_{\text{gr}}^{\text{LAWY}} \approx 300 \text{ kPa}$ , zatem konieczne jest zweryfikowanie założeń i wyników obliczonego poletka doświadczalnego.

## 7. Wnioski

Przed przystąpieniem do badań próbnego obciążenia na poletku badawczym należy przeprowadzić dokładną analizę rozmieszczenia i nośności pali fundamentowych, stanowiących zakotwienie dla ramy stalowej. Konieczne jest dobranie takich modeli ławy i stopy fundamentowych, których wymiary umożliwiają proste przeliczenie sił i naprężeń oraz wykorzystanie ich do wielu powtórzeń. Istotny jest także dobór odpowiedniego programu stałych stopni obciążenia, umożliwiający płynne doprowadzenie do stanu krytycznego.

Prawidłowo zaprojektowane stanowisko badawcze będzie służyło do badań próbnego obciążenia, co pozwoli na praktyczne zweryfikowanie zachowania się gruntu pod wpływem obciążenia i umożliwi stworzenie prostego sprężystego modelu gruntu, który jest celem badań.

## LITERATURA

1. Cytowicz N.A.: *Mechanika gruntów*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa 1958.
2. Glinicka M.J.: Sposoby interpretacji badań podłoża obciążonego płytą. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 6, 2000, s. 311-313.
3. Lambe T.W., Whitman R.V.: *Mechanika gruntów*. Arkady, Warszawa 1977.
4. Pieczyrak J.: Problemy wyznaczania parametrów geotechnicznych na podstawie próbnych obciążeń. XI Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. *Geotechnika w budownictwie i transporcie*. T. II. Gdańsk 1977, s. 127-131.
5. Pieczyrak J.: Parametry podłoża gruntowego fundamentów ustalane na podstawie wyników próbnego obciążenia. I Problemowa Konferencja Geotechniki pt. „Współpraca budowli z podłożem gruntowym”. Białystok-Wigry 1998, s. 253-259.
6. Pieczyrak J.: Ustalanie parametrów wybranych modeli gruntu na podstawie próbnych obciążeń. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Budownictwo*, Z. 91. Gliwice 2001.
7. Pieczyrak J., Renke P.: Warunki i wymagania stawiane próbnym obciążeniom gruntu. II Problemowa Konferencja Geotechniki pt. „Współpraca budowli z podłożem gruntowym”. Białystok-Białowieża 2004, s. 181-190.
8. Wihun Z.: *Zarys geotechniki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001.

Recenzent: Dr hab. inż. Zenon Szybcio