

MICHAŁ GRODECKI*

ŚCIANKA SZCZELNA JAKO ELEMENT KOTWIĄCY PRZENOSZĄCY SIŁY POZIOME

SHEET PILE WALL WORKING AS AN ANCHOR UNDER HORIZONTAL LOADS

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki symulacji numerycznych pracy ścianki szczelnej wykorzystanej jako element kotwiący przenoszący zewnętrzne obciążenia poziome. Analizowano wpływ obciążenia na pracę ścianki (stateczność, siły przekrojowe, przemieszczenia) dla ścianek zagłębionych zarówno w gruntach sypkich, jak i spoistych.

Słowa kluczowe: ścianka szczelna, stateczność

Abstract

In this paper results of a numerical simulations of a sheet pile wall working as a anchor element subjected to an external horizontal load are presented. Influence of an external horizontal load on stability, internal forces and displacements of the wall was analyzed.

Keywords: sheet pile wall, stability

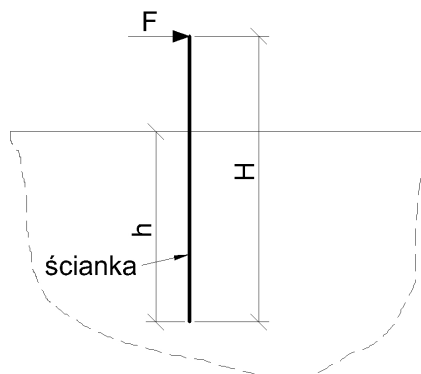
* Dr inż. Michał Grodecki, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

Oznaczenia

ϕ	–	kąt tarcia wewnętrznego [deg]
γ	–	ciężar objętościowy gruntu [kN/m^3]
c	–	kohezja [kPa]
E	–	moduł Younga [kPa]
F	–	zewnętrzna siła pozioma [kN/m]
F_{\max}	–	maksymalna wartość siły poziomej [kN/m]
h	–	głębokość wbicia ścianki [m]
H	–	całkowita wysokość ścianki [m]
J	–	moment bezwładności ścianki [cm^4/m]
M	–	moment zginający [kNm/m]
M_{\max}	–	maksymalny moment zginający [kNm/m]
M_o	–	moment wywołany odporem granicznym [kNm/m]
M_p	–	moment wywołany parciem granicznym [kNm/m]
UX	–	przemieszczenie poziome [m]
UY	–	przemieszczenie pionowe [m]
X	–	współrzędna pozioma [m]
Y	–	współrzędna pionowa [m]
SF	–	współczynnik stateczności [–]

1. Wstęp

Ścianki szczelne mogą być wykorzystywane jako element kotwiący przenoszący zewnętrzne obciążenia poziome. Celem analiz numerycznych tego typu konstrukcji jest określenie maksymalnej siły poziomej (analiza nośności), jaką może przenieść układ ścianka–grunt (ze względu na jego stateczność), oraz współczynnika stateczności i wartości momentów zginających przy założonej sile poziomej. Głównym celem artykułu jest ocena wpływu parametrów gruntu i ścianki na uzyskiwane drogą analizy numerycznej wyniki.



Rys. 1. Analizowany obiekt

Fig. 1. Analysed object

2. Eksperyment numeryczny

Przeprowadzono eksperyment numeryczny polegający na symulacji pracy ścianki dla około 100 przypadków obliczeniowych.

Obliczenia wykonano za pomocą systemu MES Z_Soil.PC (dokładną charakterystykę można znaleźć w pracach [2, 3]) z wykorzystaniem modelu sprężysto-plastycznego Coulomba–Mohra z warunkiem *cut-off* (bez nośności na rozciąganie). Przyjęto niestowarzyszone prawo płynięcia ($\psi = 0$). W celu uwzględnienia możliwości wystąpienia nieciągłości pola deformacji na styku grunt–ścianka wykorzystano elementy kontaktowe. Współczynniki stateczności określono metodą proporcjonalnej redukcji parametrów wytrzymałościowych ($c - \phi$ redukcji), omawianą wyczerpująco w pracy [1]. Wszystkie obliczenia wykonano przy założeniu płaskiego stanu odkształceń.

3. Analiza uzyskanych wyników

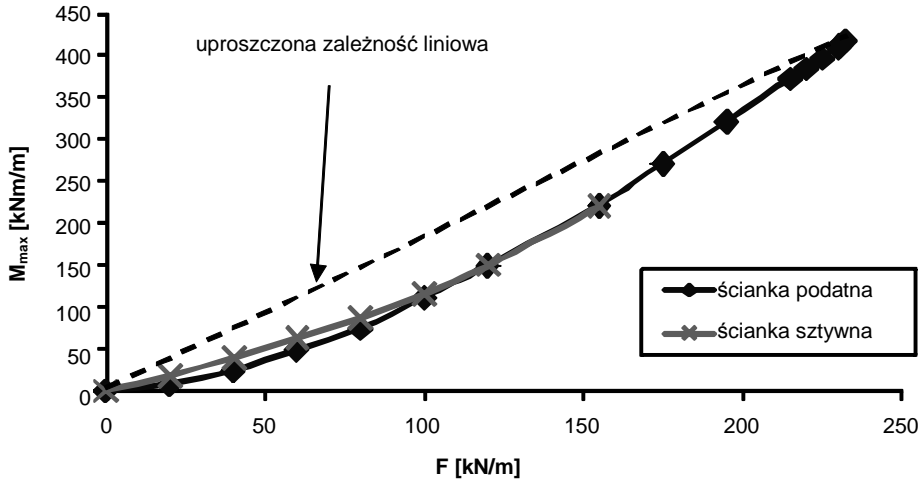
Stwierdzono, że o nośności układu grunt–ścianka decyduje moment siły zewnętrznej względem dolnego punktu ścianki ($F \cdot H$), a mechanizmem utraty stateczności jest sztywny obrót ścianki względem jej dolnego punktu. Zwiększając siłę zewnętrzną działającą na ściankę obserwowano, że:

- parcie gruntu od strony „odrywanej” maleje od parcia spoczynkowego do parcia granicznego,
- odpór gruntu od strony „dociskanej” rośnie od parcia spoczynkowego do odporu granicznego,
- rośnie moment zginający w ściance,
- w momencie utraty stateczności parcie gruntu od strony „odrywanej” jest równe parciu granicznemu, odpór od strony „odrywanej” – odporowi granicznemu, a moment siły zewnętrznej jest równy różnicy momentów odporu i parcia.

Wzrost momentów zginających wraz ze wzrostem siły zewnętrznej ma charakter zbliżony do liniowego, zwłaszcza po przekroczeniu około połowy nośności układu grunt–ścianka. Przykładowe wyniki przedstawiono na wykresie zamieszczonym na rys. 2. Prezentowane wyniki uzyskano dla ścianki wiotkiej ($EJ = 5,6 \times 10^{-3} \text{ GNm}^2/\text{m}$) i sztywnej ($EJ = 2,9 \text{ GNm}^2/\text{m}$) o wymiarach $h = H = 5 \text{ m}$, zagłębionej w gruncie o $\phi = 30^\circ$, $c = 2 \text{ kPa}$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$. Przyjmowanie zamieszczonej poniżej uproszczonej zależności liniowej prowadzi do uzyskania wyników leżących po stronie bezpiecznej. Wpływ sztywności ścianki na uzyskiwane wartości momentów zginających jest widoczny wyłącznie dla obciążeń dalekich od nośności układu grunt–ścianka.

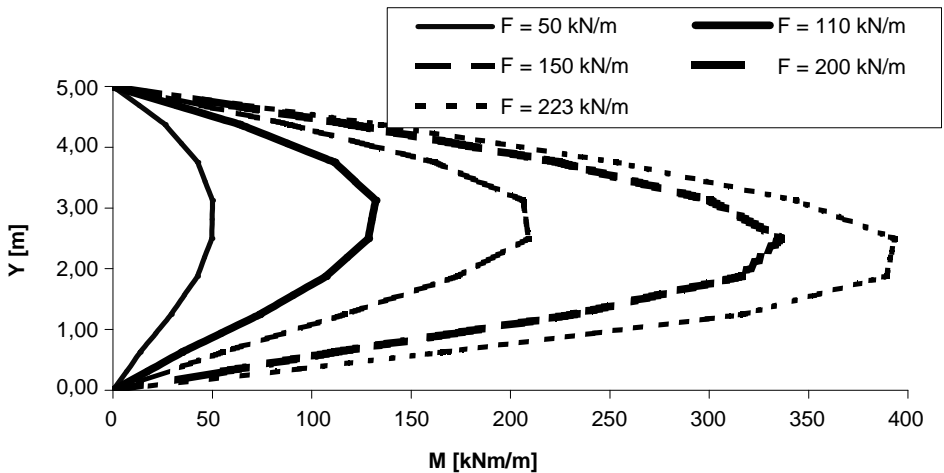
Lokalizacja maksymalnego momentu zginającego przesuwają się w dół wraz ze wzrostem siły zewnętrznej, co jest widoczne na rys. 3.

Charakter opisywanych zależności jest zbliżony dla ścianek zagłębionych w gruntach sypkich i spoiowych, o ile tylko nośność układu grunt–ścianka jest zbliżona (co widać wyraźnie na rys. 4).



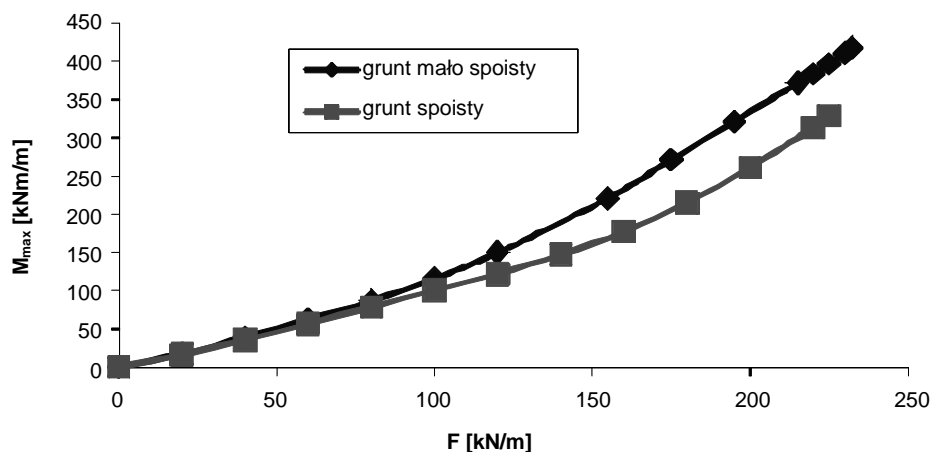
Rys. 2. Ewolucja momentów zginających wraz ze wzrostem obciążenia zewnętrznego dla ścianki sztywnej i podatnej

Fig. 2. Evolution of a bending moment with increase of external load for a stiff and soft wall



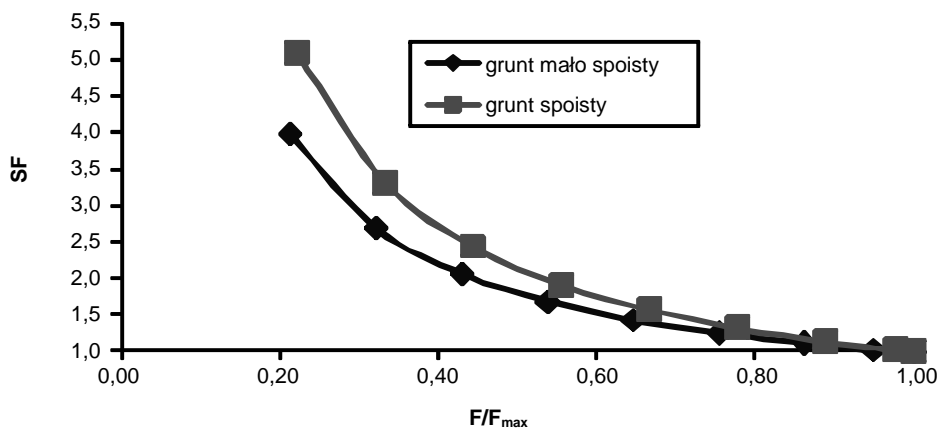
Rys. 3. Ewolucja rozkładów momentów zginających wraz ze wzrostem obciążenia zewnętrznego

Fig. 3. Evolution of a bending moment graph with increase of external load



Rys. 4. Ewolucja momentów zginających wraz ze wzrostem obciążenia zewnętrznego dla ścianki o różnych parametrach wytrzymałościowych

Fig. 4. Evolution of a bending moment with increase of external load for a wall in soils with different strength properties

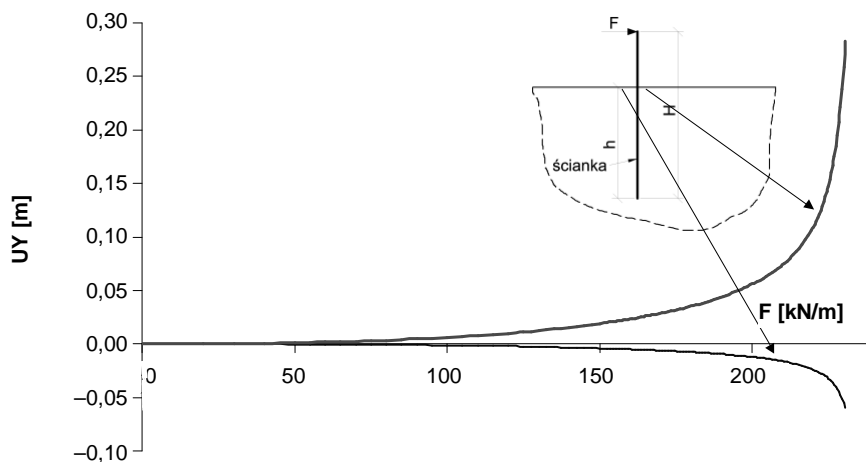


Rys. 5. Zależność pomiędzy współczynnikiem stateczności SF a wykorzystaniem nośności F/F_{max}

Fig. 5. Correlation between stability factor SF and F/F_{max} ratio

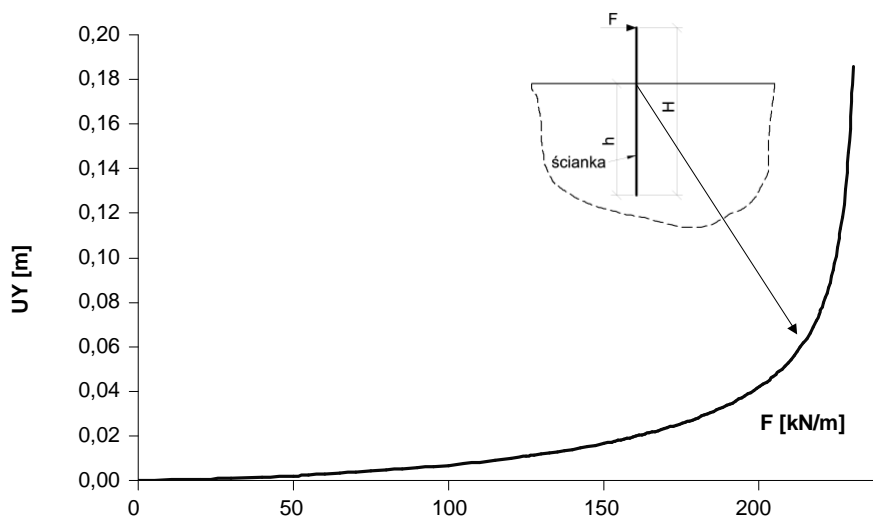
Stwierdzono, że nie ma prostej zależności pomiędzy współczynnikiem stateczności SF a wykorzystaniem nośności F/F_{max} . Uzyskane zależności są silnie nieliniowe. Przy tym samym stopniu wykorzystania nośności ścianki zagłębione w gruncie spoistym mają większy współczynnik stateczności niż ścianki zagłębione w gruncie sypkim.

Zależności obciążenie–przemieszczenie mają charakter nieliniowy (co jest konsekwencją przyjęcia sprężysto–plastycznego modelu gruntu). Po stronie „dociskanej” grunt wypiętrza się, a po „odrywanej” osiada. Osiadania są kilkukrotnie mniejsze od wypiętrzeń. Przykładowe zależności obciążenie–przemieszczenie przedstawiono na wykresach zamieszczonych na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Zależność obciążenie–przemieszczenie pionowe dla testowej ścianki

Fig. 6. External load vs vertical displacement graph for a test wall



Rys. 7. Zależność obciążenie–przemieszczenie poziome dla testowej ścianki

Fig. 7. External load vs horizontal displacement graph for a test wall

4. Propozycja metody szacowania nośności układu grunt–ścianka

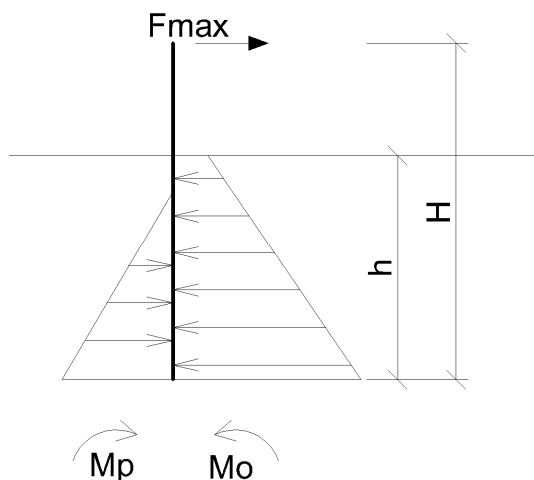
Nośność układu grunt–ścianka ze względu na stateczność (czyli wartość obciążenia zewnętrznego prowadzącego do utraty stateczności F_{\max}) może być określona na bazie równania równowagi momentów parcia granicznego M_p , oporu granicznego M_o i obciążenia zewnętrznego względem dolnego punktu ścianki zgodnie z rys. 8. Równanie równowagi przyjmuje postać

$$M_p + F_{\max} \cdot H = M_o \quad (1)$$

co po przekształceniach prowadzi do

$$F_{\max} = \frac{M_o - M_p}{H} \quad (2)$$

Wartości M_p i M_o należy ustalać, przyjmując parcie graniczne i odpór graniczny z teorią Rankine'a. Uzyskane proponowaną metodą wartości F_{\max} wykazują dobrą zgodność z wynikami obliczeń numerycznych – różnice nie przekraczają 5%. Tak więc proponowana metoda nadaje się do zastosowania w praktyce inżynierskiej.



Rys. 8. Układ obciążeń działających na ściankę w stanie granicznym

Fig. 8. Loads acting on a wall in ultimate state

5. Wnioski

Uzyskane wyniki pozwoliły na oszacowanie wpływu poziomej siły zewnętrznej na pracę układu grunt–ścianka. Stwierdzono, że o stateczności układu decyduje równowaga momentów względem dolnego punktu ścianki. Wartość nośności układu ze względu na stateczność (czyli obciążenie graniczne) można szacować za pomocą proponowanej metody

obliczeniowej. Wartości maksymalnego momentu zginającego w ścianie można interpolować liniowo względem siły zewnętrznej, przyjmując wartość zero dla braku obciążenia oraz wartość wynikającą z teorii stanu granicznego dla obciążenia granicznego.

Literatura

- [1] Sanecki L., Truty A., Urbański A., *O możliwościach modelowania komputerowego stateczności złożonych układów geotechnicznych*, Materiały XLV Konferencji Nauk KILiW PAN Krynica 99, Wrocław 1999.
- [2] Truty A., Urbański A., Podleś K., *Analiza zagadnień geotechnicznych w systemie Z-SOIL*, Materiały Pokonferencyjne X Jubileuszowej Konferencji Naukowej „Metody numeryczne do projektowania i analizy konstrukcji hydrotechnicznych”, wyd. Samodzielny Zakład Podstaw Konstrukcji Budowli Wodnych, Politechnika Krakowska, Kraków 1998.
- [3] *Z_Soil.PC, Theoretical Manual*, ZACE Services Ltd., Lozanna 1998.