

Andrzej Surowiecki, Wojciech Kozłowski, Wiesław Kielanowski

# Ściany oporowe o przekroju kątowym (numeryczna analiza stateczności)

*W sytuacjach kryzysowych, dotyczących infrastruktury transportu lądowego, będących następstwem powodzi lub innych klęsk żywiołowych, mają zastosowanie tymczasowe konstrukcje, służące do natychmiastowej odbudowy. Na przykład doraźna odbudowa zniszczonych nasypów drogowych może być realizowana stosunkowo szybko i małym kosztem przy użyciu tzw. lekkich ścian oporowych [1–5]. Obiektem badań są tego typu ściany prefabrykowane, wykonane z elementów żelbetowych o przekroju kątownika. Ukształtowana w ten sposób konstrukcja zawiera kilka lub kilkanaście pótek poziomych (w zależności od wysokości ściany i wymiarów kątowników modułowych). Konstrukcje te omówiono w [1].*

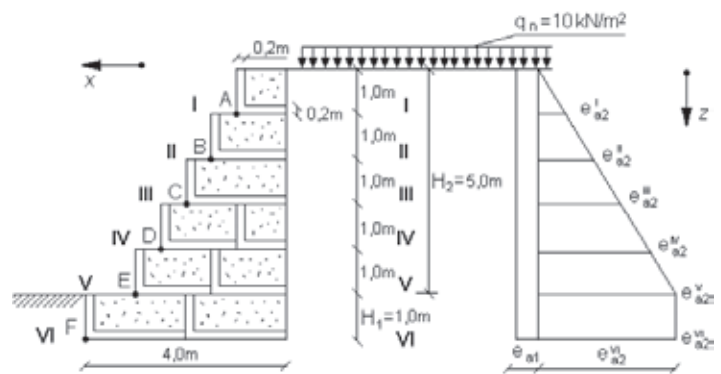
W artykule przedstawiono numeryczną analizę stateczności wybranych kilku modeli lekkich ścian oporowych. Do tego celu został opracowany oryginalny program [2, 3, 4]. Analiza polegała na obliczeniu wartości współczynników stateczności modeli ściany na obrót i przesunięcie, w funkcji przyjętych czynników zmiennych dotyczących struktury modeli. W ramach jednakowej wysokości  $H = 5,0$  m wyszczególniono 6 poziomów pomiarowych, na których obliczono wartości współczynników stateczności. Rozpatrywano dwa typy modeli: bez wkładek wzmacniających (zbrojących) oraz z dodatkowymi wkładkami zbrojącymi nasyp poza ścianą. Program numeryczny [2] umożliwia oszacowanie wartości współczynników stateczności na obrót  $n_0$ , na przesunięcie  $n_p$  oraz analizę globalnej stateczności metodą Felleniusa i Bishopa. Program oblicza także dodatkowe parametry na poszczególnych poziomach pomiarowych:

- $\sum G$  [kN] – suma sił pionowych,
- $\sum E$  [kN] – suma sił poziomych,
- $M_u$  [kNm] – moment sił obliczeniowych przeciwdziałających obrotowi ściany,
- $M_0$  [kNm] – moment sił obliczeniowych powodujących obrót ściany,
- $Q_H$  [kN] – wypadkowa siła utrzymująca ścianę,
- $Q_T$  [kN] – wypadkowa siła przesuująca ścianę,
- $\sigma_{g1}$  [kN/m<sup>2</sup>] – naprężenia normalne na krawędzi zewnętrznej przekroju poziomego (poprzedniego) ściany,
- $\sigma_{g2}$  [kN/m<sup>2</sup>] – naprężenia normalne na krawędzi wewnętrznej.

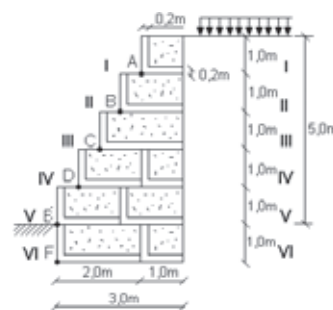
## Analiza stateczności ścian oporowych

Opracowano pięć modeli ściany bez dodatkowego zbrojenia nasypu. Schematy tych modeli pokazano na rysunkach 1, 2, 3, 4 i 5. Ponadto skonstruowano jeden model z dodatkowym zbrojeniem nasypu (rys. 6). Dla wszystkich modeli wykonano analizę współczynników stateczności. W tabeli 1 podano wartości współczynników stateczności  $n_0$  i  $n_p$  obliczone na sześciu poziomach modeli ściany (poziom 6 znajduje się w dnie fundamentu).

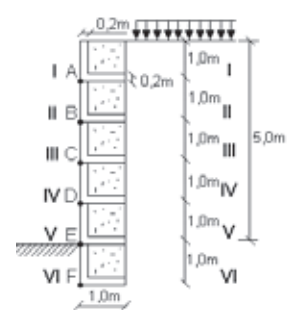
Zmniejszenie szerokości fundamentu ściany (fundament modelu 2 względem fundamentu modelu 1) skutkuje redukcją współczynników stateczności  $n_0$  i  $n_p$  w poziomie fundamentu, przy czym zmniejszenie  $n_0$  jest znaczące. Porównując wyniki obliczeń dla modeli 3, 4 i 5 stwierdzono (podobnie jak w przypadku modeli 1 i 2) znaczną wrażliwość wartości współczynnika  $n_0$  na zmianę szerokości ściany, mierzoną szerokością półki poziomej kątowników modułowych.



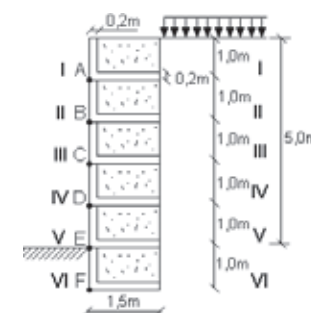
Rys. 1. Przekrój pionowy poprzeczny przez ścianę z kątownikami modułowymi – model 1



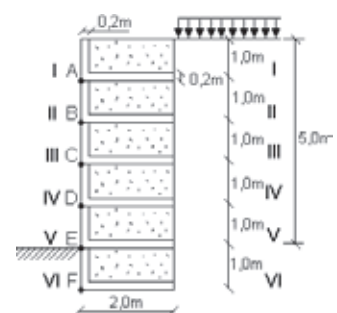
Rys. 2. Przekrój pionowy poprzeczny przez ścianę z kątownikami modułowymi – model 2



Rys. 3. Przekrój pionowy poprzeczny przez ścianę z kątownikami modułowymi – model 3



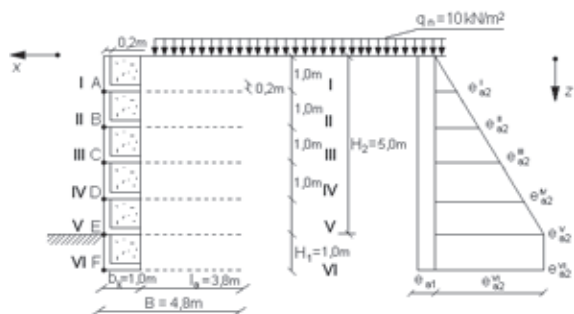
Rys. 4. Przekrój pionowy poprzeczny przez ścianę z kątownikami modułowymi – model 4



Rys. 5. Przekrój pionowy poprzeczny przez ścianę z kątownikami modułowymi – model 5

Wielkości współczynników stateczności  $n_0$  i  $n_p$  obliczone na sześciu poziomach modeli ściany (poziom VI znajduje się w dnie fundamentu)

Poziom	Model											
	1		2		3		4		5		6	
	$n_0$	$n_p$	$n_0$	$n_p$	$n_0$	$n_p$	$n_0$	$n_p$	$n_0$	$n_p$	$n_0$	$n_p$
I	4,28	1,44	4,28	1,44	4,28	1,44	9,62	2,46	17,11	2,88	87,39	6,13
II	3,30	1,22	3,30	1,22	1,56	0,98	3,50	1,47	6,22	1,96	31,78	4,16
III	2,92	1,11	2,92	1,11	0,81	0,74	1,83	1,11	3,26	1,48	16,65	3,15
IV	2,70	1,04	2,70	1,04	0,50	0,60	1,13	0,89	2,01	1,19	10,28	2,53
V	2,57	1,00	2,57	1,00	0,34	0,50	0,77	0,75	1,37	1,00	6,99	2,12
VI	3,04	0,87	1,92	0,81	0,25	0,37	0,56	0,56	0,99	0,75	5,07	1,59



Rys. 6. Przekrój pionowy poprzeczny przez ścianę z kątownikami modułowymi i dodatkowo ze zbrojeniem nasypu za ścianą – model 6

Dla modelu 6, zawierającego dodatkowe zbrojenie, sprawdzono dwa warunki stateczności według [6].

■ Warunek stateczności na obrót ściany na poziomie pomiarowym 6:

$$m_0 = M_0 / M_u \leq m_{odop} \quad (1)$$

Po podstawieniu odpowiednich danych:  $M_0 = 254,10$  kNm oraz  $M_u = 1287,36$  kNm otrzymano  $m_0 = 0,2 < m_{odop} = 0,8$  – warunek jest spełniony.

■ Warunek stateczności na poślizg ściany:

$$P_r \leq m (Q_r \operatorname{tg} \varphi_u^{(r)} + c_u^{(r)} A_{pm}) \quad (2)$$

w którym:

$P_r = \sum E_i^{VI} = 117,84$  kN – obliczeniowa składowa pozioma obciążenia po przyjęciu maksymalnej wartości składowej parcia gruntu;

$c_u^{(r)} = 0$  – spójność;

$A_{pm} = B \cdot 1,0 \text{ m} = 4,8 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} = 4,8 \text{ m}^2$  – powierzchnia podstawy ściany oporowej z elementami zbrojenia;

$m = 0,8$  – współczynnik korekcyjny;

$\varphi_u^{(r)} = 30^\circ$  – obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego podłoża gruntowego;

$Q_r = \sum G_i = 536,4$  kN – obliczeniowa składowa pionowa obciążenia.

Po podstawieniu odpowiednich danych otrzymano:

$$P_r = 117,84 \text{ kN} < 247,75 \text{ kN} \text{ – warunek jest spełniony.}$$

**Podsumowanie**

Stwierdzono istotny wpływ zmiany struktury ściany oporowej na zmianę wartości współczynników stateczności na obrót i przesunięcie, przy czym bardziej podatny jest współczynnik stateczności ze względu na obrót ściany. Zmiana struktury ściany polegała na zmianie szerokości fundamentu i zmianie długości półki po-

ziomej prefabrykatów modułowych. Zainstalowanie w modelu 6 wkładek stanowiących zbrojenie nasypu i współpracujących z kątownikami ściany przyczynia się do zmiany schematu statycznego pracy ściany i w rezultacie staje się powodem radykalnego przyrostu wartości współczynnika stateczności na obrót. Wartość współczynnika stateczności na przesunięcie przyrasta w mniejszym stopniu. Potwierdzono ponadto przydatność oryginalnego programu numerycznego [2] do analizy stateczności ścian oporowych złożonych z prefabrykatów modułowych.

Literatura

[1] Jarominiak A.: *Light retaining walls*. WKiŁ Warszawa 2002.  
 [2] Kozłowski W.: *Behaviour of gabion retaining walls and their elements under static pressure*. Doctoral dissertation, Technical University of Wrocław, Report PRE No 3, 2007, Wrocław.  
 [3] Kozłowski W.: *Experimental and numerical analysis of deformation of gabion retaining wall element*. Proceedings of the International Scientific Conference SLOVAK TRANSPORT SOCIETY MOSATT 2005 – Modern Safety technologies in Transportation, Kosice, Slovakia, 27–28.09.2005, s. 261–265.  
 [4] Kozłowski W., Surowiecki A.: *Application Program Robot Millenium to Modelling Deformations of Gabion’s Retaining Wall*. Proc. International Scientific Conference „Krizovy Management”, Brno, Czech Republic, 2004, s. 293–302.  
 [5] Kozłowski W., Surowiecki A.: *Laboratory test of deformation of retaining wall gabion-element*. Proc. International Scientific Conference TRANSCOM 2005, Zilina, Slovakia, 27–29.06.2005, s. 61–66.  
 [6] Hutník E., Kozłowski W., Surowiecki A.: *Theoretical generalization of physical models of gabion retaining walls*. Proc. of 13. International Scientific Conf. „Crisis situations solution in specific environment”. University of Zilina, Slovakia, 28–29.05.2008, p. 265–275.

Autorzy

prof. nazw. dr hab. inż. Andrzej Surowiecki  
 Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Kształtowania Środowiska i Geodezji, Katedra Budownictwa i Infrastruktury; Wyższa Szkoła Humanistyczna we Wrocławiu, Wydział Techniczno-Ekonomiczny, email: andrzej.surowiecki@up.wroc.pl;

dr inż. Wojciech Kozłowski  
 Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa Katedra Dróg i Mostów, email: w.kozlowski@po.opole.pl

dr inż. Wiesław Kielanowski  
 Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa Katedra Dróg i Mostów