

MICHAŁ GRODECKI*

WPLYW HYDROGRAMU FALI POWODZIOWEJ NA ZACHOWANIE SIĘ WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH

INFLUENCE OF A FLOOD WAVE HYDROGRAPH ON BEHAVIOR OF FLOOD EMBANKMENTS

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki symulacji numerycznych zachowania się wałów przeciwpowodziowych w trakcie przejścia wezbrań o różnych hydrogramach. Wykazano, iż kształt hydrogramu fali powodziowej w znaczny sposób wpływa na uzyskane wielkości wycieków oraz stateczność wału.

Słowa kluczowe: hydrogram, stateczność, wał przeciwpowodziowy, filtracja

Abstract

In this paper results of numerical simulations of a flood embankments behavior during floods with different hydrographs are presented. It's proved that shape of the hydrograph can affect the leakage quantity and stability of the embankment.

Keywords: hydrograph, stability, anti-flood embankment, filtration

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

Oznaczenia

- ϕ – kąt tarcia wewnętrznego [deg],
 γ – ciężar objętościowy gruntu [kN/m³],
 c – spójność [kPa],
 k – współczynnik filtracji [m/d],
SF – współczynnik stateczności [–],
 T – czas [d].

1. Wstęp

Modelowanie numeryczne jest coraz częściej stosowane w procesie projektowania i analiz wałów przeciwpowodziowych. W trakcie powodzi głównym czynnikiem oddziałującym na wał jest zmienny w czasie poziom piętrzenia. Należy zauważyć, iż przy tym samym poziomie kulminacji kształt hydrogramu fali powodziowej może być różny. Należy zatem ocenić, czy wpływa on w sposób istotny na zachowanie się wału (wycieki przez wał i podłoże oraz stateczność). Próbę takiej oceny stanowi niniejsza praca.

Na potrzeby artykułu wprowadza się następującą uproszczoną klasyfikację wezbrań (rys. 1):

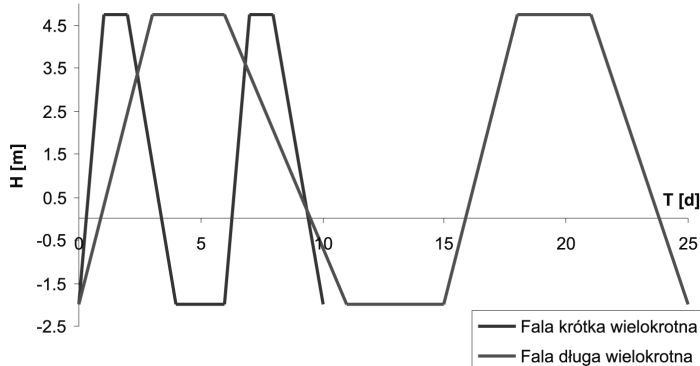
- fale „krótkie” – charakterystyczne dla rzek górskich i podgórszych,
- fale „długie” – typowe dla rzek nizinnych,
- fale „wielokrotne” – kilka kolejnych wezbrań występujących po sobie w krótkich odstępach czasu.

2. Eksperyment numeryczny

Wykonano eksperyment numeryczny polegający na symulacji zachowania się modelowego wału przeciwpowodziowego w trakcie przejścia fal powodziowych o tej samej wysokości kulminacji, lecz o innym kształcie hydrogramu.

Obliczenia wykonano za pomocą systemu MES Z_Soil.PC (dokładną charakterystykę można znaleźć w pracach [1] i [5]) z wykorzystaniem modelu sprężysto-plastycznego Coulomba-Mohra. Przyjęto niestowarzyszone prawo płynięcia ($\psi = 0$). Współczynniki stateczności określono metodą proporcjonalnej redukcji parametrów wytrzymałościowych ($c - \phi$ redukcji), omawianą wyczerpująco w pracy [2]. Wszystkie obliczenia wykonano przy założeniu płaskiego stanu odkształceń. Wykorzystano model filtracji nieustalonej z opisem strefy niepełnego nasycenia według van Genuchtena [4]. Dokładny opis przyjętej metodologii obliczeń można znaleźć w pracy [3].

Analizowano wał jednorodny, zbudowany z piasku drobnego o $I_D = 0,6$ ($k = 3$ m/d), o wysokości 5 m, szerokości korony 5 m i skarpach w nachyleniu 1:2. Na głębokości 10 m przyjęto obecność warstwy nieprzepuszczalnej.



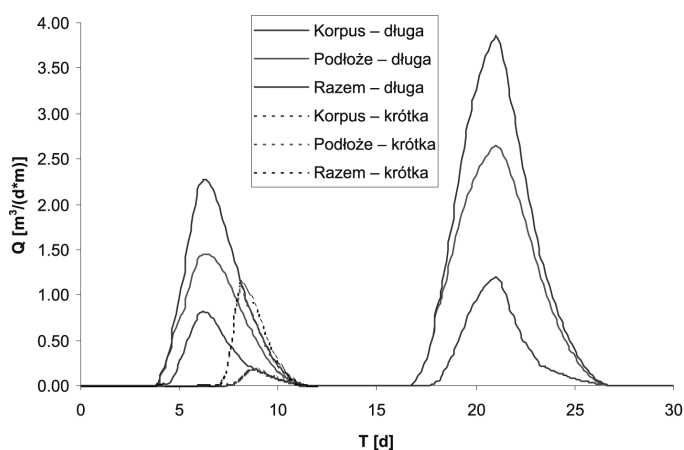
Rys. 1. Wykorzystane hydrogramy fali powodziowej

Fig. 1. Used hydrographs of the flood wave

3. Uzyskane wyniki

Rezultaty obliczeń pokazano na rys. 2. W przypadku fali „krótkiej” wał zachował szczelność w trakcie pierwszej kulminacji, nie obserwowano wycieków. W czasie przejścia drugiej kulminacji obserwowano wycieki do $1,2 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$. W przypadku fali „długiej” w czasie pierwszej kulminacji obserwowano wycieki w wielkości do $2,4 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$, w czasie trwania drugiej kulminacji wyciek osiągnął wartość $4 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$. Tak więc „wielokrotność” fali może powodować istotny wzrost wielkości wycieków. Zjawisko to jest spowodowane faktem, iż kolejne wezbranie zaczyna oddziaływać na wał, z którego korpusu nie zdążyła odpłynąć woda, która dostała się do niego w czasie poprzedniego wezbrania.

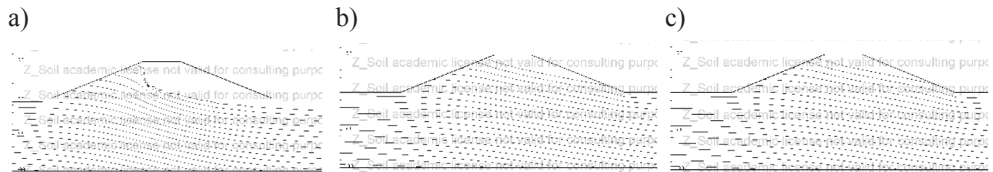
Uzyskane rozkłady (izolinie) ciśnień filtracyjnych w fazie kulminacyjnej przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Wykres wycieków w czasie dla wielokrotnej fali „długiej” i „krótkiej”

Fig. 2. Flow through the embankment and subsoil during the flood for long and short repeated flood wave

Stateczność wału analizowano w fazie kulminacji wezbrania i w fazie opadania poziomu wody. Z uwagi na widoczne różnice w rozkładach ciśnień filtracyjnych uzyskano różnice w wynikach analizy stateczności. Najwyższe współczynniki stateczności uzyskano dla fali „krótkiej”. Fala „długa” dała niższe współczynniki stateczności (zarówno w fazie kulminacji, jak i w okresie opadania poziomu wody). Kolejne wezbrania w ramach fali „wielokrotnej” skutkują wyraźnym spadkiem współczynnika stateczności w fazie kulminacji.



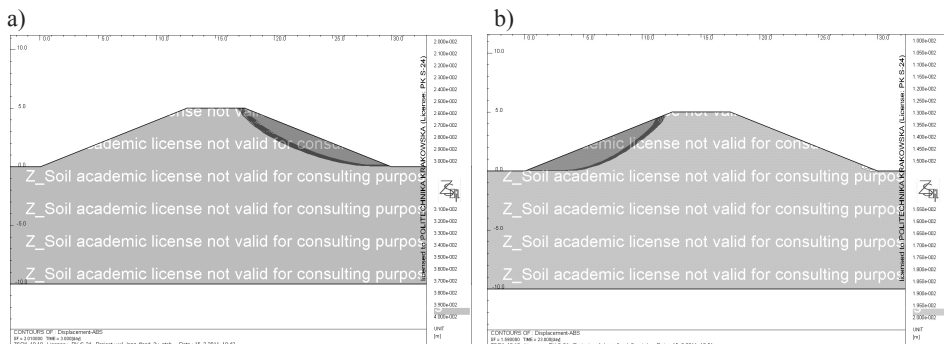
Rys. 3. Rozkłady ciśnień filtracyjnych dla końca fazy kulminacyjnej: a) fala „krótka”, b) fala „długa”, c) fala „długa” wielokrotna, druga kulminacja

Fig. 3. Pore pressures distribution for end of the culmination of the flood wave, a) “short” wave, b) “long” wave c) “long” repeated wave, second culmination

Tabela 1

Uzyskane wartości współczynnika stateczności SF i położenie powierzchni poślizgu

Fala	I wezbranie		II wezbranie	
	Kulminacja	Faza opadania	Kulminacja	Faza opadania
Krótka	2,01, skarpa odpowietrzna	1,62, skarpa odwodna	1,83, skarpa odpowietrzna	1,52, skarpa odwodna
Długa wielokrotna	1,42, skarpa odpowietrzna	1,59, skarpa odpowietrzna	1,32, skarpa odpowietrzna	1,59, skarpa odwodna



Rys. 4. Postać utraty stateczności: a) przy pierwszej i drugiej kulminacji i w fazie opadania poziomu wody pierwszego wezbrania b) w fazie opadania poziomu wody drugiego wezbrania

Fig. 4. Stability loss form: a) for culminations and decreasing water level of first wave, b) for decreasing water level of second wave

4. Wnioski

Kształt hydrogramu fali powodziowej może mieć istotny wpływ na wyniki analiz numerycznych wałów przeciwpowodziowych. Fala „wielokrotna” może być bardziej groźna dla wału od fali pojedynczej. Wał bezpieczny (szczelny i stateczny) w warunkach fali pojedynczej może okazać się zagrożony (nieszczelny i/lub niestateczny) pod działaniem fali „długiej” lub „wielokrotnej”.

Kolejne kulminacje fali „wielokrotnej” mogą zmieniać mechanizm utraty stateczności.

Literatura

- [1] Podleś K., Truty A., Urbański A., *Analiza zagadnień geotechnicznych w systemie Z_SOIL*, X Jubileuszowa Konferencja Naukowa „Metody Numeryczne do Projektowania i Analizy Konstrukcji Hydrotechnicznych”, Korbiewów 1998, 100-108.
- [2] Truty A., Urbański A., Grodecki M., Podleś K., *Komputerowe modele zagadnień osuwiskowych oraz ich zabezpieczeń*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej w Krakowie, nr 88 (zeszyt 144), 2009.
- [3] Urbański A., Truty A., Grodecki M., *Modelowanie numeryczne nieustalonej filtracji i stateczności wałów przeciwpowodziowych*, materiały pokonferencyjne IX Konferencji Technicznej Kontroli Zapór Rytyro 29-31.05.2001.
- [4] Van Genuchten M.Th., *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*, American Society of Soil Sciences, 1980.
- [5] *Z_Soil.PC, Theoretical Manual*, ZACE Services Ltd., Lozanna 1998.