

OPTYMALIZACJA WYMIARÓW KONSTRUKCJI USZCZELNIAJĄCYCH WAŁY PRZECIWPOWODZIOWE

Józef Mirecki

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Paweł Pitera

GEOTEKO Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o., Warszawa

Streszczenie. Artykuł dotyczy oceny wpływu rozmiarów (w przekroju poprzecznym) uszczelnienia pionowego i poziomego na stateczność skarpy obwałowania. Obliczenia symulacyjne wykonano dla jednego z przekrojów poprzecznych prawego obwałowania rzeki Warty w pobliżu Poznania. Optymalizacja wymiarów uszczelnienia obwałowania i jego podłoża jest również wynikiem oceny wpływu długości przesłony (pionowej i poziomej) na wartości współczynnika stateczności. Rozważano trzy warianty, które dotyczyły: przesłony pionowej w podłożu obwałowania, zlokalizowanej u podstawy skarpy odwodnej połączonej z ekranem na tej skarpie, przesłony poziomej (fartucha) połączonej z ekranem na skarpie odwodnej i przesłony pionowej wykonanej z korony wału.

Słowa kluczowe: wał przeciwpowodziowy, modernizacja, przesłona, filtracja, stateczność skarpy

WSTĘP

Obwałowania chronią tereny przyległe w czasie wezbrań powodziowych rzek. Obwałowania te, będąc pod wpływem obciążeń o zmiennych wartościach i charakterze są narażone na uszkodzenia i awarie.

Wiele obwałowań na terenie Polski nigdy nie było przedmiotem oceny stanu technicznego, głównie ze względu na problemy finansowe. Straty spowodowane powodzią z 1997 oraz 2010 roku świadczą o konieczności poprawy jakości zabezpieczeń przeciwpowodziowych w Polsce.

Obecnie powszechnym sposobem remontów obwałowań są przesłony hydroizolacyjne. Ich wymiary, konstrukcja i technologia wykonania powinny być ustalane indywidualnie na potrzeby poszczególnych obiektów, z uwzględnieniem warunków filtracji w kor-

pusie i w podłożu obwałowania. Przesłony hydroizolacyjne wpływają także korzystnie na stateczność ogólną obwałowania. W artykule, na przykładzie obwałowania rzeki Warty w rejonie miejscowości Koziegłowy, na potrzeby optymalizacji projektu jego uszczelnienia wykorzystano analizę jego stateczności z zastosowaniem różnych wariantów przesłon hydroizolacyjnych.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Przedmiotem analizy jest prawy wał przeciwpowodziowy rzeki Warty w rejonie Poznania (rys. 1). Wysokość wału wynosi średnio 4,0 m, szerokość korony – 3,0 m, a nachylenia skarp, odwodnej i odpowietrznej – 1 : 2,5. Wał jest zaliczony do I klasy budowli wodnych. Po stronie odpowietrznej, niemal na całej długości wału, znajduje się rów o głębokości 1,0–1,5 m.

Skarpy, odwodna (km 0+786–1+400) i odpowietrzna (km 0+786–1+000), są porośnięte drzewami. W korpusie wału znajdują się nory zwierzęce. Na skarpie odwodnej – od km ok. 1 + 200 do km ok. 1 + 400 (ok. 200 m) oraz na skarpie odpowietrznej – od km ok. 1 + 000 do km ok. 1 + 200 (ok. 200 m) występują lokalne osunięcia gruntu.



Rys. 1. Lokalizacja analizowanego odcinka wału i przekroju obliczeniowego VIII–VIII
 Fig. 1. Location of analyzed levee and cross section VIII–VIII

Na potrzeby oceny stanu technicznego wału [Ekspertyza dotycząca ... 2011] wykonano zostały wiercenia badawcze i sondowania statyczne CPT w przekrojach badawczych. Badania z korony wykonano do głębokości 6–9 m, a u podnóża skarp – do głębokości 4–6 m. Sondowania statyczne CPT wykonano stożkiem mechanicznym.

Dla wydzielonych warstw geotechnicznych o podobnym rodzaju gruntu i stanie (patrz rys. 5) na podstawie wyników badań ustalono wartości charakterystyczne parametrów gruntowych metodą B, według zaleceń PN-81/B-03020 (tab. 1). Wykonane badania wykazały, że korpus wału jest w większości wykonany z piasków różnoziarnistych, lokalnie z domieszką gliniastych, w stanie zagęszczonym ($I_D \geq 0,66$; warstwa Ic) i miejscami średniozagęszczonym ($I_D = 0,34-0,65$; warstwa Ib). W rejonie km 1+300, w połowie wysokości wału występuje przewarstwienie piasków w stanie luźnym ($I_D < 0,33$; warstwa Ia).

Tabela 1. Wartości parametrów gruntowych na podstawie PN-81/B-03020
Table 1. Soil parameter values based on PN-81/B-03020

Nr warstwy Layer no.	Rodzaj gruntu Type of soil	$I_D/(I_L)$ [-]	$\gamma^{(n)}$ [t·m ⁻³]	$\varphi_u^{(n)}$ [°]	$c_u^{(n)}$ [kPa]
Ia	Pd,Ps,Pπ	<0,3	17,0	29	–
Ib	Pd,Ps,Pπ	0,57	17,5	30	–
Ic	Pd,Ps,Pπ	0,7	18,5	31	–
IIa	Gp, Pg	0,37	21,0	12	11
IIb	Gp, Pg	0,1	22,0	16	22
IIc	Gp, Pg	0,0	22,0	18	30

⁽ⁿ⁾ – wartości charakterystyczne parametrów / standard parameter value.

W podłożu wału, od powierzchni terenu, występują głównie piaski drobne w stanie luźnym ($I_D < 0,33$; warstwa Ia) i średniozagęszczonym ($I_D = 0,34-0,65$; warstwa Ib). Miejscami występują grunty spoiste w postaci namulów gliniastych, piasków gliniastych i glin pylastych w stanie półzwałym i twaroplastycznym ($I_L = 0,0-0,25$; warstwa IIb), a w rejonie km 1+600 zalega cienka warstwa w stanie plastycznym. Największa miąższość gruntów spoistych jest na odcinku km 1+650–1+750.

Zwierciadło wody gruntowej jest swobodne i zalega w piaskach podłoża ze spadkiem do rzeki na głębokościach 4,0–5,8 m p.p.t. W podłożu wału występują drogi uprzywilejowanej filtracji, które mogą przyczyniać się do powstania szkodliwych odkształceń filtracyjnych.

METODYKA OBLICZEŃ

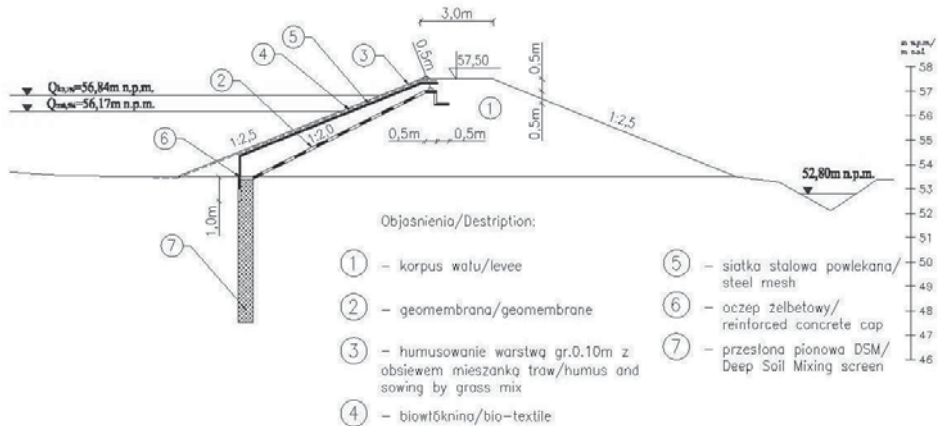
Na potrzeby optymalizacji wymiarów projektowanych uszczelnień wału przeciwpowodziowego dokonano symulacji wpływu zmian długości przesłony hydroizolacyjnej na wartość współczynnika stateczności. Przeanalizowano trzy warianty obliczeniowe:

I – przesłona pionowa u podstawy wału i ekran na skarpie odwodnej (rys. 2),

II – przesłona pozioma i ekran na skarpie odwodnej (rys. 3),

III – przesłona pionowa z korony wału (rys. 4).

W wariantcie I przyjęto przesłone pionową z kolumn DSM (względne mieszanie gruntu – *Deep Soil Mixing*), wykonaną u podstawy skarpy odwodnej, połączoną z ekranem na skarpię odwodnej z geomembrany PVC (rys. 2).

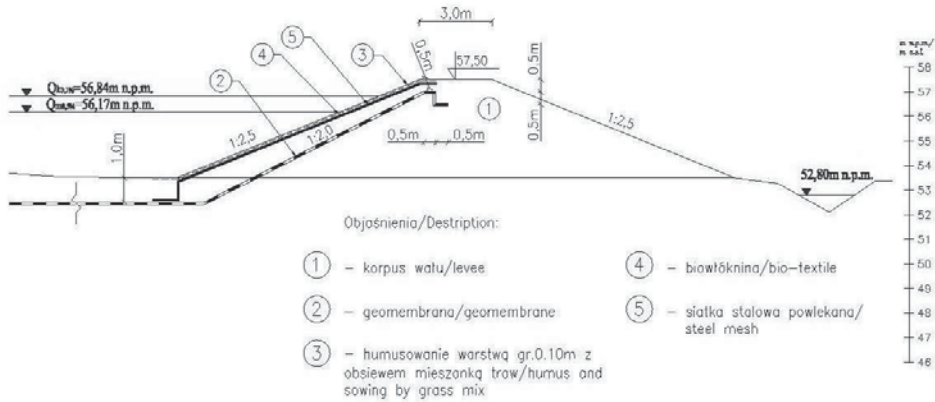


Rys. 2. Schemat modernizacji wału – wariant I (przesłona pionowa i ekran na skarpię odwodnej)
Fig. 2. Modernization scheme of levee – variant I (vertical screen and upstream slope screen)

Przyjęto typowe nachylenia 1 : 2,0 i 1 : 2,5 odpowiednio dla geomembrany oraz skarpy odwodnej. Geomembrana będzie umocowana w rowie kotwiącym w koronie wału. Na warstwie przykrywającej geomembranę przewidziano kolejno biowłókninę i humusowanie o grubości 0,1 m, z obsiewem mieszanką traw. Koronę obwałowania przewidziano podwyższyć do rzędnej projektowanej 57,50 m n.p.m. Obliczenia filtracji i współczynnika stateczności wykonano w dziesięciu krokach obliczeniowych.

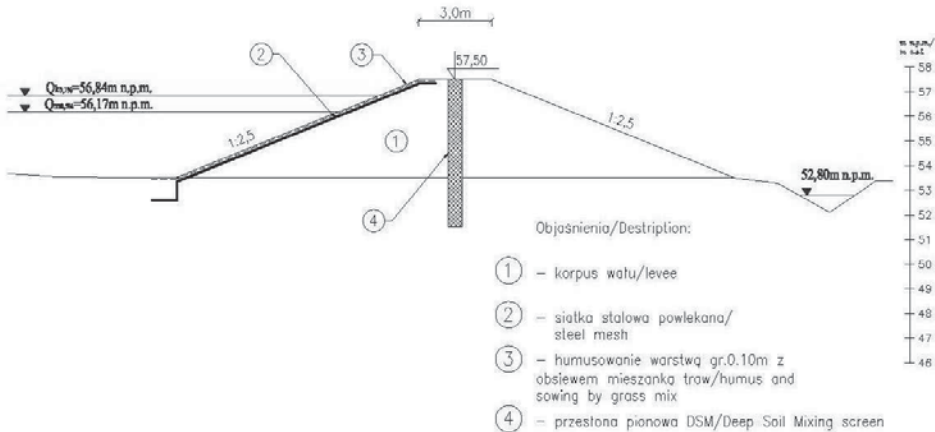
Krok pierwszy to stan istniejący, bez uszczelnienia korpusu i podłoża wału. W kroku drugim wprowadzono ekran z geomembrany z PVC na skarpię odwodnej i przesłone pionową długości 2,0 m z kolumn wykonanych u podstawy wału w technologii DSM. W kolejnych krokach obliczeniowych wydłużano przesłone pionową co 0,5 m, aż do osiągnięcia głębokości 6,0 m. W każdym kroku obliczeniowym wykonano obliczenia filtracji i stateczności dla przekroju VIII–VIII.

W wariantcie II w międzywałie zastosowano poziomy fartuch z geomembrany PVC, przedłużony jako ekran na skarpię odwodnej. Schemat wariantu II pokazano na rysunku 3. Obliczenia filtracji i współczynnika stateczności dla wariantu II wykonano w dziesięciu krokach obliczeniowych dla zróżnicowanych długości fartucha. Pierwszy krok obliczeniowy dotyczył stanu istniejącego (bez uszczelnienia korpusu i podłoża wału). W drugim kroku wprowadzono ekran z geomembrany PVC na skarpię odwodnej i fartuch długości 2,0 m. W kolejnych krokach obliczeniowych fartuch wydłużano co 1,0 m, aż do osiągnięcia długości 10,0 m. Długość przesłony poziomej liczono od podstawy wału. W każdym z dziesięciu kroków obliczeniowych wykonano obliczenia filtracji i stateczności dla całego przekroju obliczeniowego.



Rys. 3. Schemat modernizacji wału – wariant II (przesłona pozioma i ekran na skarpie odwodnej)
 Fig. 3. Modernization scheme of levee – variant II (horizontal screen and upstream slope screen)

W wariantcie III przyjęto przesłonę pionową z kolumn DSM wykonaną w osi korony wału. Na skarpie odwodnej ułożono siatkę stalową zabezpieczającą przed zwierzętami ryjącymi, a następnie humus o warstwie grubości 0,1 m, z obsiewem mieszanką traw. Koronę obwałowania podwyższono do rzędnej projektowanej 57,50 m n.p.m. Schemat modernizacji w wariantcie III pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat modernizacji wału – wariant III (przesłona pionowa z korony wału)
 Fig. 4. Modernization scheme of levee – variant III (vertical screen made from crest of levee)

Obliczenia filtracji i współczynnika stateczności dla wariantu III wykonano dla zmiennej głębokości przesłony. Pierwszy krok obliczeniowy dotyczył stanu istniejącego. W drugim kroku przesłona pionowa z kolumn DSM sięgała do 2,0 m w podłoże. W kolejnych krokach obliczeniowych pogłębiano przesłonę pionową co 0,5 m, aż do osiągnięcia głębokości 10,0 m w podłożu.

Przekrój obliczeniowy VIII–VIII (patrz rys. 5) został wybrany ze względu na:

- wartość współczynnika stateczności ogólnej w stanie istniejącym ($F = 1,03$), świadcząca o stanie równowagi granicznej przy przejściu wody kontrolnej; przy niskim stanie wody w korycie rzeki współczynnik ten jest wyższy ($F = 1,51$),
- występowanie znacznej miąższość gruntów niespoistych w stanie luźnym, zalegających w podłożu wału,
- występowanie znacznego zróżnicowania zagęszczenia gruntu: korpus – stan zagęszczony, podłoże – stan luźny.

Ponadto w przekroju tym istnieją wychodnie gruntów niespoistych w stanie luźnym w skarpie rowu odwadniającego na zawalu, które mogą sprzyjać wystąpieniu przebiecia hydraulicznego.

Do numerycznego modelowania zjawisk filtracyjnych wykorzystano program SEEP/W wchodzący w skład pakietu GeoStudio 2007 firmy GEO-SLOPE. We wszystkich wariantach obliczono położenie krzywej depresji w warunkach filtracji ustalonej. Za warunek brzegowy od strony międzywała przyjęto (jako najbardziej niekorzystny) poziom wody kontrolnej równy $Q_{0,1\%}$ o rzędnej 56,84 m n.p.m., a od zawala – poziom wody w rowie o rzędnej 52,80 m n.p.m. Współczynniki filtracji przyjęte dla poszczególnych warstw geotechnicznych i materiałów uszczelnienia przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Współczynniki filtracji przyjęte do analizy filtracji
Table 2. Permeability coefficient for seepage analysis

Numer warstwy Number of layer	Współczynnik filtracji Permeability coefficient k [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
Ia	$1\cdot 10^{-4}$
Ib	$1\cdot 10^{-4}$
Ic	$1\cdot 10^{-5}$
IIb	$1\cdot 10^{-7}$
DSM	$1\cdot 10^{-8}$
Geomembrana – Geomembrane (PVC)	$1\cdot 10^{-8}$

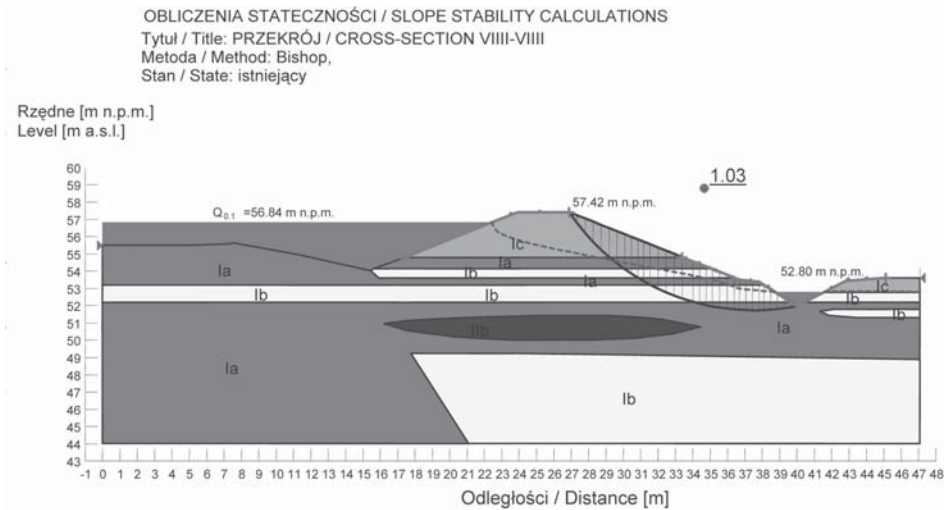
Obliczenia współczynnika stateczności ogólnej wykonane zostały metodą Bishopa. Parametry geotechniczne przyjęte do obliczeń zostały ustalone przez zmniejszenie wartości parametrów charakterystycznych (tab. 3) o 10%, zgodnie z PN-81/B-03020.

Tabela 3. Wartości parametrów geotechnicznych przyjęte do obliczeń stateczności
Table 3. Values of geotechnical parameters for slope stability calculations

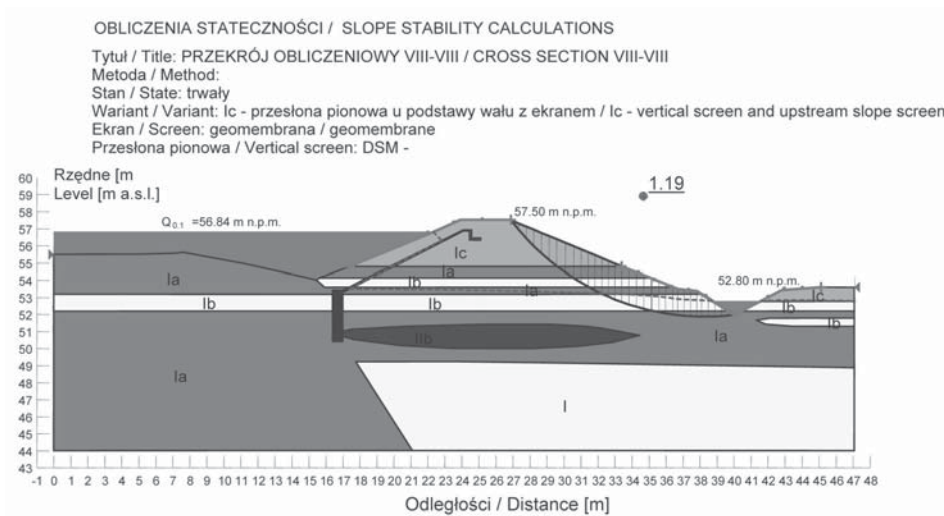
Numer warstwy Number of layer	Rodzaj gruntu Type of soil	$I_D/(I_L)$ [-]	$\gamma^{(r)}$ [$\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$]	$\varphi_u^{(r)}$ [°]	$c_u^{(r)}$ [kPa]
Ia	Pd,Ps,P π	<0,3	17,0	26,1	–
Ib	Pd,Ps,P π	0,57	17,5	27,0	–
Ic	Pd,Ps,P π	0,7	18,5	27,9	–
IIb	Gp, Pg	0,1	22,0	14,4	19,8
DSM	–	–	15,0	31,0	42,0
Geomembrana – Geomembrane (PVC)	–	–	12,0	30,0	–

Na podstawie oceny stanu technicznego analizowanego odcinka wału przeciwpowodziowego, z uwzględnieniem użycia dostępnych technologii budowlanych, dokonano wariantowej analizy efektów modernizacji. Trzy warianty rozwiązania uszczelnienia korpusu i podłoża wału (rys. 2–4) miały na celu wybór najkorzystniejszego z nich na podstawie analizy wyników obliczeń statycznych i filtracyjnych.

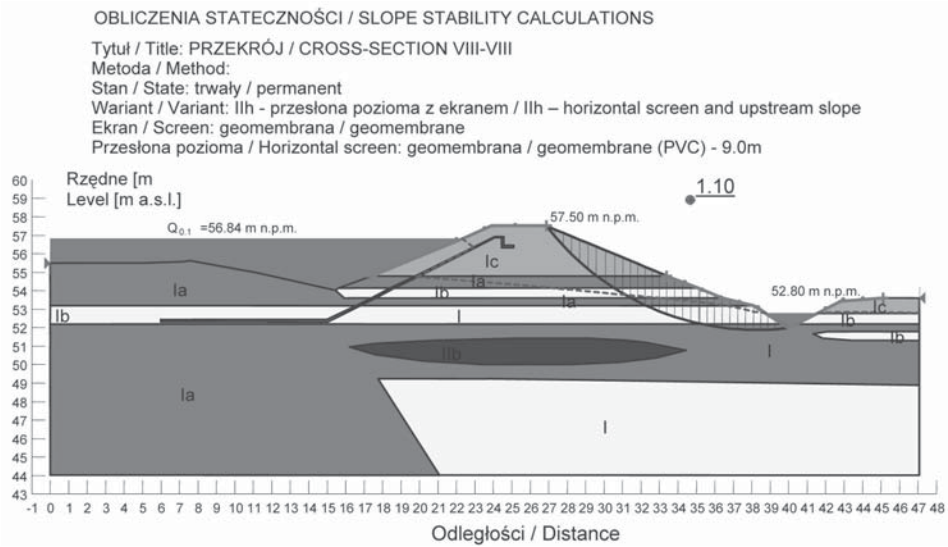
Wybrane wyniki obliczeń współczynników stateczności, tj. najmniejsze ich wartości oraz położenia powierzchni poślizgu dla poszczególnych wariantów przedstawiają rysunki 5–8, a porównanie tych wyników – rysunek 9.



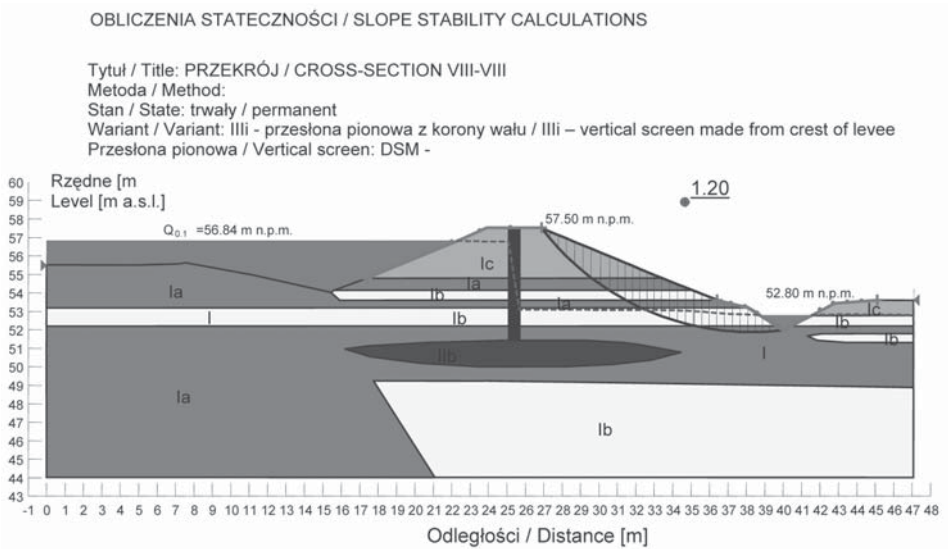
Rys. 5. Obliczenia stateczności – stan istniejący przy poziomie wody kontrolnej
 Fig. 5. Slope stability calculations – current state, 0,1% water level



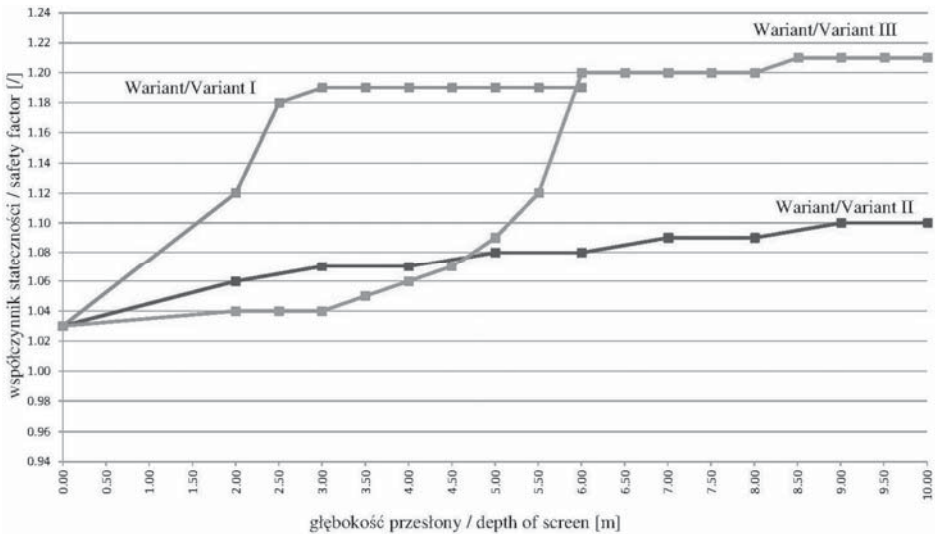
Rys. 6. Obliczenia stateczności – wariant I, woda kontrolna
 Fig. 6. Slope stability calculations – variant I, 0,1% water level



Rys. 7. Obliczenia stateczności – wariant II, woda kontrolna
Fig. 7. Slope stability calculations – variant II, 0,1% water level



Rys. 8. Obliczenia stateczności – wariant III, woda kontrolna
Fig. 8. Slope stability calculations – variant III, 0,1% water level



Rys. 9. Wykresy zależności wartości współczynnika stateczności ogólnej od głębokości przesłony w poszczególnych wariantach obliczeniowych

Fig. 9. General safety factor vs. depth of screen for analysed calculation variants

WNIOSKI

1. Analizowany wał przeciwpowodziowy w stanie obecnym przy piętrzeniu wód wezbraniowych (Q_m i Q_k) zagraża bezpieczeństwu. Konieczna jest jego modernizacja, głównie ze względu na wartość współczynnika stateczności, wskazującą osiągnięcie w podłożu stanu równowagi granicznej ($F = 1,03$).

2. Z przeprowadzonych symulacyjnych obliczeń statycznych wynika, że najkorzystniej jest zastosować I lub III wariant modernizacji. Wariant I polegać będzie na wykonaniu przesłony pionowej w technologii DSM u podstawy wału po stronie odwodnej (o głębokości 3,0 m) i ekranu na skarpie odwodnej z geomembrany z PVC. Wartość współczynnika stateczności będzie wtedy równa $F = 1,19$. Dalsze wydłużanie przesłony nie powoduje zwiększania wartości współczynnika stateczności. Wariant III polegać będzie na wykonaniu przesłony pionowej w technologii DSM w osi korony wału o głębokości 6,0 m (ok. 3,5 m w korpusie i ok. 2,5 m w podłożu). Wartość współczynnika stateczności wynosić będzie $F = 1,20$. Dalsze pogłębianie przesłony nie spowoduje znaczącego zwiększania wartości współczynnika stateczności.

3. Uszczelnienie korpusu i podłoża obwałowania znacznie obniża położenie krzywej filtracji na skarpie odpowietrznej, co też wpływa na poprawę warunków stateczności filtracyjnej.

PIŚMIENNICTWO

- Borys M., 2006. Metody modernizacji obwałowań przeciwpowodziowych z zastosowaniem nowych technik i technologii. IMUZ, Falenty.
- Borys M., Mosiej K., Topolnicki M., 2006. Projektowanie i wykonawstwo pionowych przegród przeciwpowodziowych z zawieszin twardniejących w korpusach i podłożu wałów przeciwpowodziowych. IMUZ, Falenty.
- Ekspertyza dotycząca oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa przeciwpowodziowego wału ochronnego terenu centralnej oczyszczalni ścieków w Kozięglowach, 2011. Geoteko, Warszawa.
- PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.

OPTIMIZATION OF SEALING SCREEN DIMENSIONS IN LEVEES

Abstract. The paper analyses an impact of dimensions of vertical and horizontal screens on slope stability of a levee. The calculations were performed for one of the cross-sections of the River Warta right levee near the city of Poznań. The optimized dimensions of levee and subsoil screens result also from the influence of screen length assessment on safety factor. Three variants were analysed: vertical screen in the subsoil, located at the toe of upstream slope combined with a screen on the upstream slope, horizontal screen (blanket) connected with a screen on the upstream slope and vertical screen made from crest of levee.

Key words: levee, modernization, screen, permeability, slope stability

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.12.2013