

AWARIA POŁUDNIOWO-WSCHODNIEJ SKARPY ZAMKU KSIĄŻĄT POMORSKICH

GRZEGORZ SZMECHEL, *e-mail: gszmechel@zut.edu.pl*
Zachodniopomorskie Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

ABRAHAM WOJCIECHOWSKI
Barg ArtGeo Sp. z o.o.

Streszczenie: W artykule omówiono stan techniczny skarpy południowo wschodniej Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie ze szczególnym uwzględnieniem jej stateczności ogólnej. Analiza dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, jaka została dla tego obiektu utworzona przez ostatnie lata wskazuje, iż w znacznej mierze zbudowany jest on z gruntów antropogenicznych, z licznymi domieszkami gruzu i innych materiałów. Utrudnia to podjęcie działań mających na celu naprawę skarpy i przywrócenie jej dawnej świetności. Przedstawiono propozycję wzmocnienia skarpy za pomocą grodzii PVC wciskanych statycznie, oraz obliczeniowo wykazano skuteczność takiego rozwiązania.

Słowa kluczowe: stateczność skarpy, zsuw, awaria skarpy, zamek książąt pomorskich

1. Rys historyczny budowy geologicznej skarpy

Skarpa, która została opisana w niniejszym artykule jest znana mieszkańcom Szczecina, jako skarpa „armatnia”. Usytuowana przy południowo-wschodnim skrzydle Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie, rozciąga się na około 100 m wzdłuż zabytkowej budowli, ważnej zarówno dla mieszkańców miasta jak i dla odwiedzających je turystów. Należąca do skarpy w odległości od 10 do 16 metrów od krawędzi skarpy obciążony jest tarasem, obiegającym wschodnią i północną część Zamku.

Geomorfologicznie omawiany stanowi fragment wysoczyzny morenowej, położonej na północny zachód od doliny Dolnej Odry, o wysokości ok. 25–28 m. Pierwotna krawędź doliny zniekształcona została przez działania człowieka związane z osadnictwem, następnie rozbudową funkcji obronnych zamku, a ostatecznie zmieniona przez bombardowania i działania wojenne [1]. Złożona historia omawianego rejonu tłumaczy mocno dziś zniekształconą strukturę podłoża gruntowego skarpy złożonego głównie z antropogenicznych nasypów niebudowlanych z domieszkami cegieł i fragmentami dawnych murów.

W latach 1958–1964 i 1970–1975 Zamek Książąt Pomorskich przeszedł gruntowną rekonstrukcję i został odbudowany na pierwotnym planie. Pracami rewitalizacyjnymi kierował architekt Stanisław Latour.

W latach 2011–2015 mieszkańcy Szczecina upominali się w publicznej dyskusji, aby wykonać konieczne zabiegi wzmocnienia skarpy. Niejednokrotnie próbowano wykonać proste zabiegi inżynierskie mające na celu poprawę wyglądu różnych części skarpy, która wiele razy osuwała się pomimo zastosowania zabiegów wzmacniających. W ostatnim kwartale roku 2015 władze Zamku postanowiły ogłosić przetarg na wykonanie projektu wzmocnienia skarpy zamkowej wraz z planem zagospodarowania terenu.

2. Opis stanu istniejącego

W celu oceny obecnej sytuacji skarpy południowo-wschodniej Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie, przeanalizowano dokumenty z roku 2011, w szczególności opinie geotechniczną [5], która przedstawia zbrocze, które nie posiada znaczących osunięć lub obrywów gruntu, ani nie uległo istotnym erozjom od wód opadowych. W dokumentacji wskazuje się, że brak zmian strukturalnych może być spowodowana obecnością fragmentów dawnej zabudowy.

Wizja lokalna wykonana w lutym 2016 roku wskazuje że obecnie skarpa, w przeciągu tych kilku lat uległa znacznej deformacji, a proces ten prowadził do znaczących zmian w jej geometrii

Na rysunkach 1 i 2 pokazano część skarpy południowo-wschodniej Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie, który w dalszej części artykułu został wybrana do przeprowadzenia analizy stateczności. Widoczna duża powierzchnia obrywu gruntu, widoczna erozja i ogólna destabilizacja struktury.



Rys. 1. Stan skarpy zamkowej od kierunku ESE, po prawej widoczny fragment ściany dawnej zabudowy



Rys. 2. Fragment budowy wzmocnienia skarpy południowo-wschodniej Zamku

Obecnie mieszkańcy i właściciele budynków przy ul. Panieńskiej bezpośrednio graniczącej ze skarpią rozpoczęli działania mające na celu umocnienie skarpy. Podparcie skarpy jest realizowane za pomocą żelbetowej ścianki oporowej. W wyniku prac odsłonięto, większą część

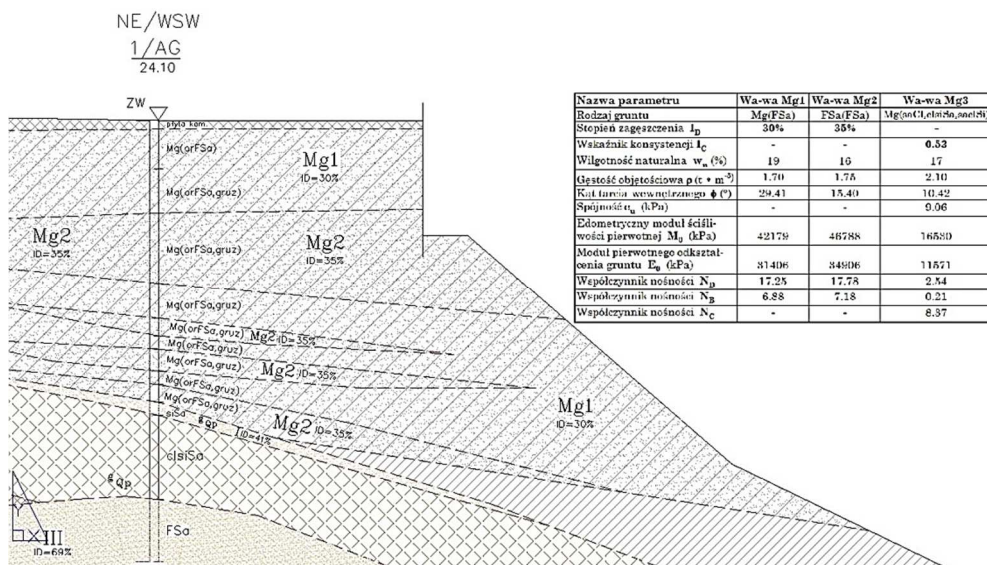
stoku składającej się z nasypu niekontrolowanego (piasek drobny z gruzem), a także wyrywkowych fragmentów dawnej zabudowy. Następnie, na odsłonięty fragment skarpy wyłożono geosiatkę, która w końcowej fazie robót została pokryta darnią. Działania te mają na celu zabezpieczenie interesu mieszkańców pobliskiej ulicy zagrożonej obecnie obsunięciem się skarpy południowo-wschodniej.

Na podstawie przedstawionych zdjęć widać, iż stan skarpy i obszaru bezpośrednio po stronie południowo-wschodniej Zamku jest zły, być może obecnie nie zagraża on życiu ludzkiemu, jednakże, faktem jest, iż skarpa w obecnym kształcie oszpeca jeden z najważniejszych zabytków Szczecina. Niestety południowo-wschodnia skarpa Zamku należy obecnie do osób prywatnych – Miasto Szczecin nie ma, więc wielkiego wpływu na działania wykonywane na tym terenie.

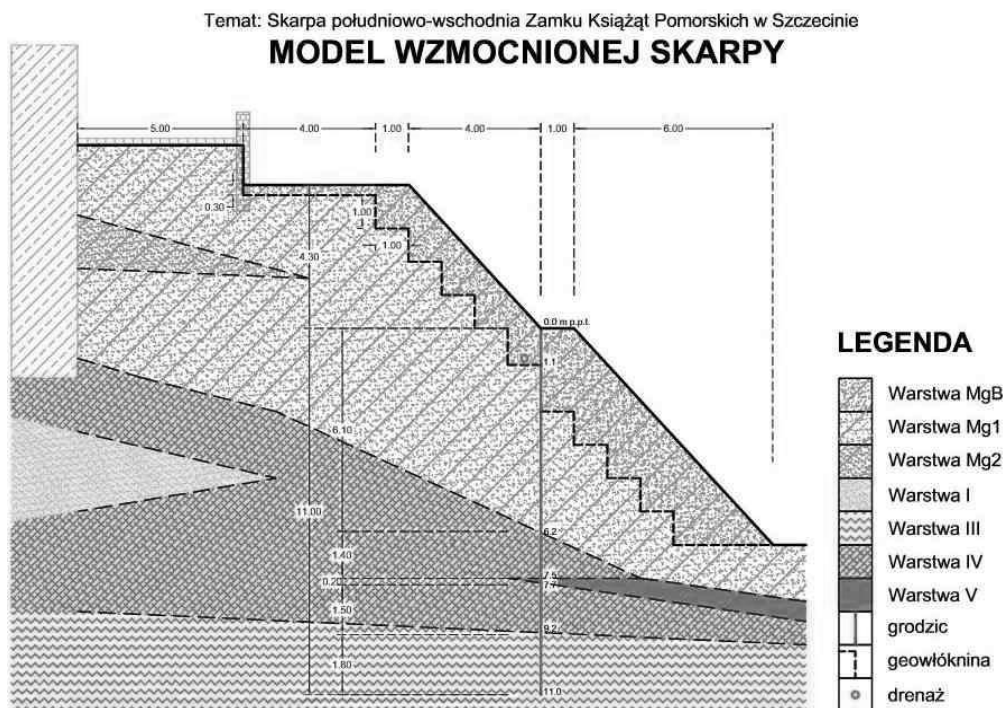
3. Warunki gruntowo-wodne i koncepcja wzmocnienia

Przekrój wykorzystany w obliczeniach stateczności powstał na bazie kilku opracowań geologicznych. W pierwszej kolejności jest to opinia geotechniczna z roku 2011 firmy „ArtGeo” [5], która opisywała rejon skarpy południowo-wschodniej Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie. W grudniu 2015 roku została opracowana dokumentacja geologiczno-inżynierska [6] obejmująca zakresem skarpe północną i południowo-wschodnią Zamku. Ta dokumentacja geologiczno-inżynierska stała się następnie podstawą do wykonania projektu wzmocnienia skarpy zamówionego przez miasto Szczecin. Na wycinku przekroju geologiczno-inżynierskiego widać skomplikowaną budowę skarpy.

Dokładna analiza warunków gruntowo-wodnych wskazuje iż jednym z możliwych do zastosowania rozwiązań jest wykonanie elementu stabilizującego w postaci ścianki szczelnej z grodzic PVC pograżanych metoda statyczną. Grodzice w proponowanym rozwiązaniu usytuowano mniej więcej pośrodku zbocza. Do modelu przyjęto skarpe o nienaruszonej strukturze, zgodnie z opinią geotechniczną [5] z 2011 roku. Następnie, należy wybrać nasyp niekontrolowany warstwy Mg1 z zastosowaniem schodkowania wykonać w to miejsce nowe lico skarpy z pospółki ułożonej na geowłókninie separacyjnej.



Rys 3. Fragment przekroju geotechnicznego skarpy SE [5]



Rys 4. Koncepcja skarpy Zamku z elementami wzmacniającymi[4]

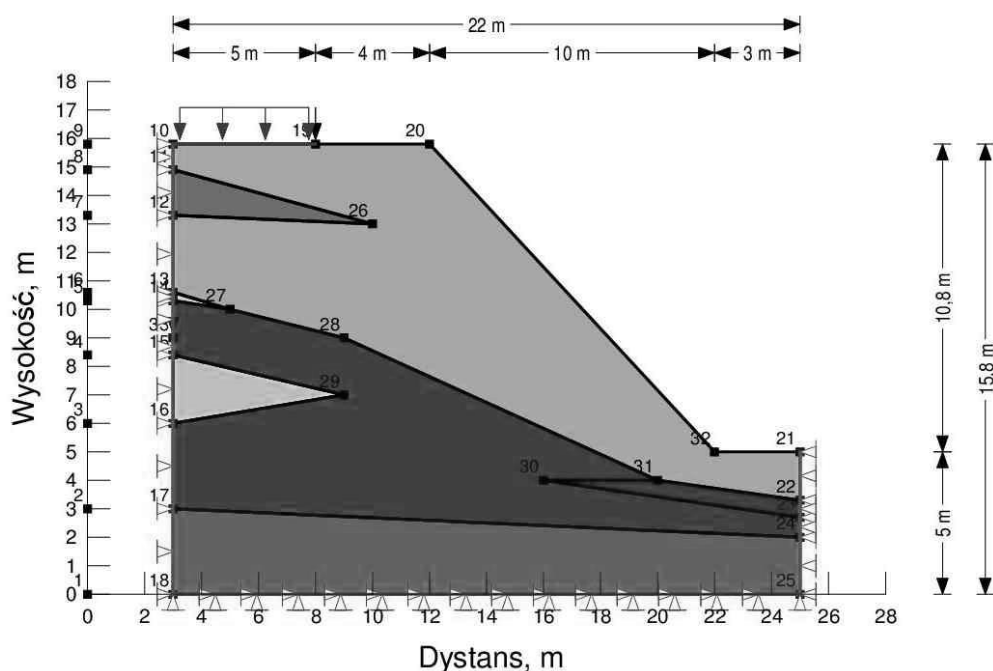
Propozycja przedstawionego wzmocnienia uwarunkowana jest przede wszystkim: koniecznością zapewnienia skarpie odpowiednio wysokiego współczynnika bezpieczeństwa, uwzględnia także względy ekonomiczne (grodzice stosunkowo lekkie, z materiału wielokrotnie tańszego od stali), i dodatkowo jest rozwiązaniem estetycznym. Kierownictwo Zamku Książąt Pomorskich w niedalekiej przyszłości zamierza, w ramach wykonywania rekonstrukcji zbroca wokół budowli, przywrócić skarpie jej dawny wygląd, a następnie udekorować ją ogrodami zamkowymi. Koncepcja także zakłada, iż na skarpie będą się znajdować ścieżki, alejki dla osób odwiedzających te miejsce.

Wprowadzenie w obliczeniach stateczności elementu ścianki szczelnej w model obliczeniowy skarpy powoduje znaczące zwiększenie zasięgu powierzchni poślizgu.

W proponowanym rozwiązaniu istotne jest zastosowanie pospółki jako materiału do wykonania nasypu budowlanego, grunt ten charakteryzuje się wysokim kątem tarcia wewnętrznego (ok. 40°), co dla skarpy posiadającej duże nachylenia (ok. 45°) jest niezwykle istotne.

4. Obliczenia stateczności skarpy

W celu przeprowadzenia obliczeń stateczności wykorzystano oprogramowanie inżynierskie z pakietu Geo5 moduły: Stateczność zbocza oraz MES. W pierwszej kolejności wykonano obliczenia stateczności skarpy nieumocnionej z wykorzystaniem najpopularniejszych metod obliczeniowych: Felleniusa, Bishopa, oraz Janbu. Potraktowano iż skarpa obciążona jest tarasem który zamodelowano jako obciążenie równomiernie rozłożone o wartości charakterystycznej 15 kN/m^2 znajdującym się 4 metry od krawędzi skarpy. Z uwagi na znaczącą odległość, oraz ramowy układ budowli, pominięto w analizie występowanie sił skupionych od fundamentu Zamku Książąt Pomorskich



Rys. 5 Model obliczeniowy skarpy [7]

Tabela 1. Zestawienie krytycznych współczynników pewności dla podanych powierzchni poślizgu – skarpa nieumocniona i umocniona

Nr powierzchni poślizgu	FS	FS
Bishop	<u>0,748</u>	1,73
Felleniusa / Peterson	0,569	<u>1,50</u>
Janbu	0,569	1,71

Rozbieżność wyników obliczeń wynika z zastosowania różnych metod obliczeniowych: Felleniusa, Petersona, Janbu a co za tym idzie różnych warunków brzegowych dla poszczególnych metod. Rozbieżności pomiędzy poszczególnymi metodami wskazuje także literatura [4].

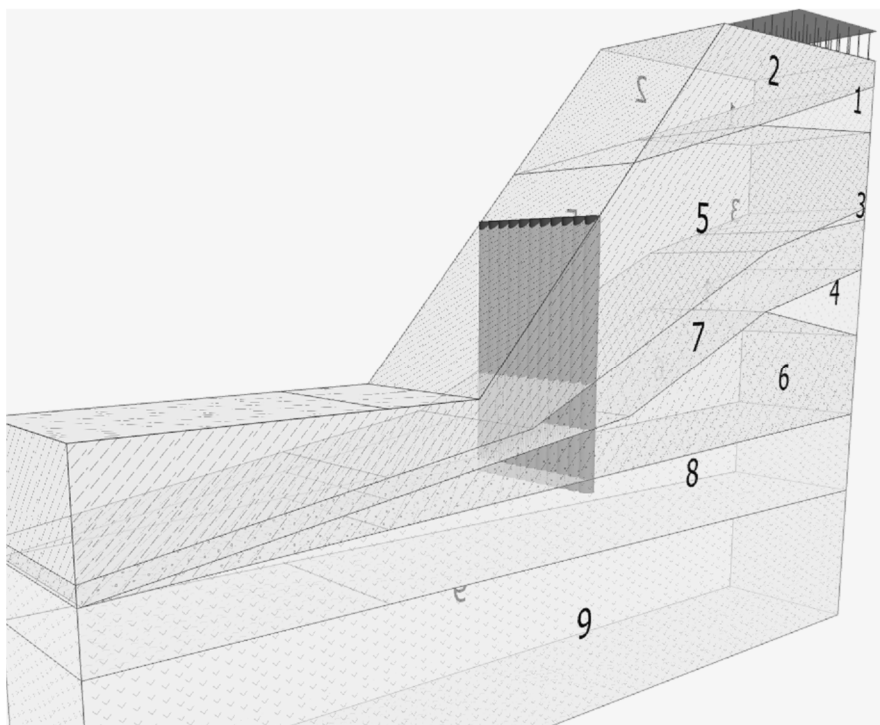
a)	Case	F	λ
	Slip-circle analysis . .	2.098	—
	Generalized method (Assumption I) . .	2.045	—0.256
	Generalized method (Assumption II) . .	2.136	—0.208
	Generalized method (Assumption III) . .	2.134	—0.393

b)	Case	F	
	Kenney's analysis . .	1.66 – 1.72	
	Janbu's analysis . .	1.73	
	Generalized method (Assumption I) . .	1.592	—0.328
	Generalized method (Assumption II) . .	1.609	—1.190

Rys. 6. Porównanie metod poprzez współczynnik bezpieczeństwa dla tego samego modelu analiz: a) kołowych, b) niekołowych [4]

Następnie założono wykonanie wzmocnienia za pomocą grodzic PVC wciskanych statycznie w połowie wysokości skarpy. Wymaganą względami stateczności minimalną długość grodzic wyznaczono za pomocą iteracyjnego procesu analizy stateczności trzema różnymi

metodami obliczeniowymi. Schemat wzmocnienia pokazano na rysunkach 4 i 6. Iteracyjnie dobrana minimalna długość grodzicy to 8,0 m dla współczynnika pewności $FS = 1,50$ wg metody Felleniusa.



Rys 7. Widok trójwymiarowy skarpy umocnionej grodzicami

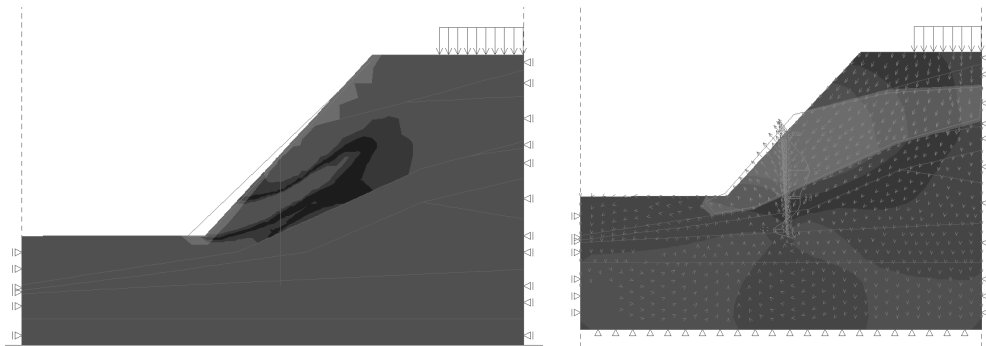
Dodatkowo dla proponowanej metody wzmocnienia wykonano obliczenia metodą elementów skończonych przy wykorzystaniu Pakietu programów geotechnicznych GEO 5 (MES) w płaskim stanie odkształcenia. Jako model materiałowy elementów skończonych stanowiących poszczególne warstwy gruntu przyjęto sprężysto-idealnie plastyczny model Coulomba-Mohra.

Analiza stateczności przeprowadzona została metodą SSRM (Shear Strength Reduction Method). Metoda ta polega na analizie zadania ze stopniową redukcją parametrów wytrzymałościowych gruntu (c , ϕ) aż do osiągnięcia stanu granicznego. Stopień redukcji wartości początkowych parametrów wytrzymałościowych w odniesieniu do wartości granicznych wyznacza współczynnik stateczności SF :

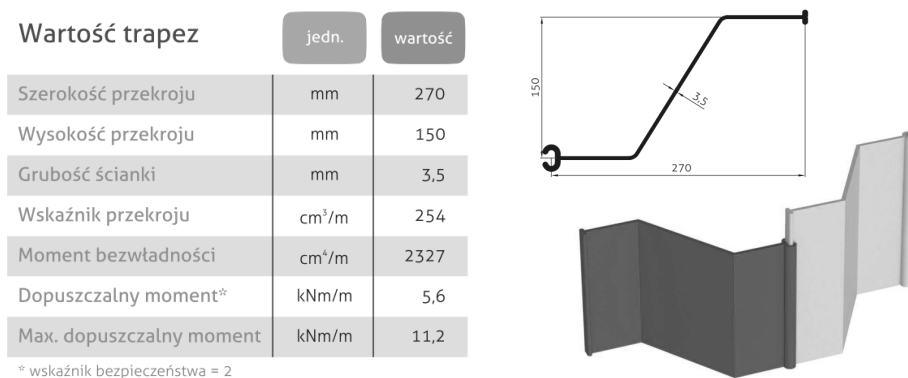
$$SF = \frac{c_0}{c_{gr}} = \frac{tg\phi_{orig}}{tg\phi_{fail}}$$

Jako wartość współczynnika bezpieczeństwa konstrukcji przyjmuje się ostatnią wartość SF , przy której modelowany układ uzyskał stan równowagi. [8]

Wyniki obliczeń numerycznych metodą SSRM wykazały współczynnik pewności SF dla skarpy nieumocnionej $SF = 0,81$ oraz skarpy umocnionej $SF = 1,48$. Charakterystyczny moment zginający w grodzicy wynosi zaś 3,4 kNm/m przy zastosowaniu częściowego współczynnika bezpieczeństwa $\gamma_R = 1,35$ wartość obliczeniowa wyniesie 4,59 kNm/m w związku z tym do zabezpieczenia skarpy zaproponowano grodzicę poliestrową GW-270/3,5



Rys 8. Wizualizacja stref odkształceń plastycznych ε_{pl} odpowiadających powstałym powierzchniom uplastycznienia, i przemieszczenia poziome d_x skarpy podpartej.



Rys 9. Grodzica Ecolock z PVC profil przyjęty do zabezpieczenia skarpy [9]

5. Podsumowanie

W Artykule przedstawiono aktualny stan skarpy południo-wschodniej Zamku Książąt Pomorskich znanej, jako skarpa „Armatnia”. Na podstawie udostępnionych dokumentacji geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych utworzono geotechniczny model podłoża skarpy ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań, w jakich skarpa powstała.

Prawidłowe modelowanie zagadnienia stateczności w tym wypadku jest znacznie utrudnione przez znaczną ilość domieszek antropogenicznych, gruzów a nawet fragmentów innych budowli znajdujących się w podłożu. Obecny stan skarpy należy uznać za awaryjny, doszło tam do znaczących przemieszczeń struktury gruntu, i głębokiej deformacji zbocza.

Obliczeniowo wykazano, iż skarpa w obecnym kształcie jest niestateczna, a współczynnik bezpieczeństwa waha się od 0,57–0,75 dla skarpy nieumocnionej.

Wynik potwierdzono także poprzez wykonanie modelu numerycznego skarpy Metodą Elementów Skończonych dla modelu gruntu z kryterium zniszczenia Coulomba Mohra, w analizie wykorzystano metodę redukcji parametrów wytrzymałościowych, obliczony w ten sposób współczynnik stateczności wyniósł $SF = 0,81$ dla skarpy nieumocnionej i 1,48 dla umocnionej.

Zaproponowano metodę poprawy stateczności zbocza poprzez zastosowanie ścianki szczelnej z tworzyw sztucznych. Grodzice zagłębiane są albo metodą statyczną lub za pomocą specjalnych bocznych prowadnic zwanych manderlami [9]. Zastosowanie grodzic z tworzyw sztucznych pozwoli znacząco zredukować koszty wykonania umocnienia (koszt metra

bieżącego grodzicy, transport materiału, łatwość montażu). W celu zabezpieczenia ostrza grodzicy PVC proponuje się wykonanie specjalnego ostrza stalowego, które obejmie spód grodzicy z tworzywa sztucznego. Alternatywnie można zastosować warstwowe grodzice kompozytowe, lub stalowe. Autorzy nie zalecają zagłębiania grodzic poprzez wpłukiwanie, gdyż mogłoby to doprowadzić do rozluźniania mocno zaburzonej struktury gruntu pochodzenia antropogenicznego.

Współczynnik pewności skarpy umocnionej w ten sposób obliczony metodami analitycznymi tj.: Felleniusa, Janbu i Morgensterna waha się od 1,50 dla metody Felleniusa do 1,73 dla metody Janbu. Należy stwierdzić iż dobór metody obliczania stateczności znacząco wpływa na ostateczny wynik globalnego współczynnika stateczności. Okazuje się, że dla rozpatrywanej skarpy najbardziej niekorzystne wartości współczynnika bezpieczeństwa wykazała metoda SSRM z wykorzystaniem modelu MES. Wyniki tej metody są praktycznie zbieżne z wynikami metody szwedzkiej.

Dodatkowo istotnym elementem rewitalizacji skarpy jest właściwe wykonanie schodkowania, istniejących gruntów nasypowych, następnie separacja geowłókniną, i wykonanie zasyпки gruntem niespoistym o wysokim kącie tarcia wewnętrznego np. pospółką. Dodatkowo za ściną z grodzic PVC należy uwzględnić wykonanie drenażu opaskowego, w celu zminimalizowania ingerencji w warunki wodne skarpy (ujęcie infiltrującej wody opadowej).

Literatura

1. Ciechanowski G., Ciechanowski J., Murawski M.J.: Kurs bojowy Stettin. Bombardowania Szczecina i Polic w okresie 1940–1945, AMW, Toruń 2013
2. Czarnota-Bojarski R.: Mechanika gruntów i fundamentowanie cz. I, WPW, Warszawa 1977.
3. Kondracki J.: Geografia regionalna Polski. Warszawa: PWN, 2002.
4. Morgenstern N., Price V.: The analysis of the stability of general slip surfaces, ICE, Londyn 1965.
5. Ober M.: Dokumentacja geologiczno-inżynierska ustalająca warunki geologiczno-inżynierskie na potrzeby projektu kompleksowego zagospodarowania tarasów Zamku Książąt Pomorskich na działkach nr 7/6 i 7/35, obręb 1037 przy ul. Korsarzy 34 w Szczecinie. Szczecin 2015.
6. Ober M.: Opinia o warunkach geotechnicznych w podłożu tarasu i skarpy po południowo-wschodniej stronie Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie. Szczecin 2011.
7. Wojciechowski A.: Analiza stateczności południowo-wschodniej skarpy Zamku Książąt Pomorskich w Szczecinie – Praca Magisterska ZUT w Szczecinie 2016.
8. Instrukcja Użytkownika pakietu programów GEO5 wersja 2016.
9. Pietrucha Sp. z o.o. – Katalog Informacyjny grodzic PVC.

DAMAGE OF SOUTH EAST SLOPE OF WEST POMERANIAN DUKES CASTLE

Abstract: Paper presents technical issues of south east slope of West Pomeranian Dukes Castle in Szczecin. The main aspect of analysis is global stability of the slope. In nowadays slope is in bad geotechnical conditions. Geotechnical reports made in last few years, indicates that significant part of slope is built from anthropogenic soils with lots of bricks and others wastes. It is very hard to provide safe slope stability solution in so complicated geotechnical conditions. Using few popular methods of slope stability check, global stability of unreinforced and reinforced slope was checked. Authors also made a proposition of the sheet pile wall from PVC profiles. Proposed solution was checked in FEM geotechnical program with implemented SSRM method.

Keywords: slope stability, ground slide, slope damage, West Pomeranian Castle