



## Współczesne procesy osuwiskowe na klifie w Jastrzębiej Górze

Lesław Zabuski<sup>1</sup>, Marek Kulczykowski<sup>1</sup>

L. Zabuski



M. Kulczykowski

**Present-day landslide processes on the cliff in Jastrzębia Góra.** Prz. Geol., 68: 682–690; doi: 10.7306/2020.26

*Abstract.* The paper describes the geomorphological and geological structure of the cliff Baltic bank in Jastrzębia Góra. The detailed description and analysis of the landslide developed in the selected cross-section of the cliff is provided. Extensive complex investigations involving multiple techniques are described. These methods include the borehole drilling and inspection of the soils composing the slope, laboratory tests of the shear strength parameters by the triaxial compression method, slope stability calculations basing on the finite difference method and inclinometric measurements of the displacements in the borehole performed on the slope. The results prove that the extent of the landslide is limited to the upper part of the slope. The stability factor lower than 1.0 and the continuous displacements measured in the borehole indicate the recent cliff instability. Therefore the works for slope stabilization are strongly recommended.

**Keywords:** landslide, cliff, displacement, stability calculations

Klify bałtyckie to typ brzegu wysokiego, zbudowanego z glin zwałowych, piasków sandrowych, żwirów fluwioglacjalnych oraz iłów. Miejscami występują piaski i muły zastoiskowe (Subotowicz, 1982; Tomczak, 1995; Marks i in., 2006). Morfologia klifów, przede wszystkim ich znaczne nachylenie, powoduje utratę stateczności i powstawanie bądź aktywizację zsuwów i obrywów. Typowym fragmentem klifowego brzegu, na którym od dawna obserwuje się takie procesy, jest klif w Jastrzębiej Górze. Rozciąga się on na długości 8–9 km od zachodniej granicy miasta aż do Cetniewa na wschodzie (Skompski, 2001; Sawicki i in., 2002; Uścińowicz i in., 2014a, b). Z danych przedstawianych na mapach i w opisach w materiałach Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO) wynika, że niemal cały klif na tym odcinku jest objęty ruchami osuwiskowymi (Jurys i in., 2007; Grabowski i in., 2008; Małka i in., 2018).

Według Uścińowicza i in. (2014a, 2016, 2017) w rejonie m.in. Jastrzębiej Góry można wyróżnić trzy typy osuwisk. Pierwszy to osuwiska spotykane powszechnie na polskim wybrzeżu, rozwinięte w nieskonsolidowanych gruntach, głównie w piaskach, w których powierzchnia poślizgu jest stosunkowo płytka. Drugi to osuwiska proste, w strefach pomiędzy 128,50 i 129,50 km oraz 132,25 i 133,50 km wybrzeża, tworzące się w ośrodku jednorodnym, niezaburzonym, zbudowanym z glin, iłów i piasków. Trzeci typ to osuwiska złożone, kształtowane przez glaci-tektonikę, charakteryzujące się nieciągłością warstw gruntowych i strefami uskokowymi. Są zazwyczaj głębokie, z kilkoma powierzchniami poślizgu. Ten typ można umiejscowić w rejonie 131,50 oraz 134 km.

Znaczną aktywność osuwiskową obserwuje się m.in. na odcinku pomiędzy km 133+650 i 133+850 (Subotowicz, 1982, 2000, 2003; Gwizdała i in., 1992/93; Tejchman i in., 1993, 1995) (ryc. 1). Występujący tam proces osuwiskowy, analizowany w artykule, jest – wg SOPO – zsuwem (osuwisko) okresowo aktywnym (Małka i in., 2018). Ulegał on kilkakrotnie uaktywnieniu, m.in. w maju i czerwcu 1988 r. (Gwizdała i in., 1992/1993). W pierwszej połowie lat 90. XX w. u podnóża klifu wykonano opaskę brzegową z gabionów, zabezpieczającą przed abrazyjną działalnością morza (Subotowicz, 2003, 2015; Sikora i in., 2015). Pomimo tego zabezpieczenia w 2002 r. wystąpiły tam dwa duże zsuwy, które spowodowały cofnięcie się korony klifu o 8–10 m oraz znaczne zniszczenie części budynku dawnego D.W. *Horyzont* (obecnie *Willa J. Becka*).

Obliczenia stateczności klifu z uwzględnieniem tego budynku (Świdziński, 2006) wykazały, że zapas bezpieczeństwa był tu niewielki. Natomiast przy założeniu dużego nawodnienia uzyskano współczynnik stateczności mniejszy od jedności ( $F = 0,93$ ), co wskazywało na możliwość utraty stabilności klifu. W konsekwencji wykonano tu kolejne zabezpieczenie w postaci stabilizującej klif konstrukcji podporowej z gruntu zbrojonego geosiatką TENSAR (Unczur, 2005).

Pomimo tych zabezpieczeń na klifowym brzegu są ponownie widoczne formy i oznaki deformacji osuwiskowych – zagłębienia, spiętrzenia, fałdy, a w rejonie korony klifu powiększająca się skarpa główna osuwiska o wysokości ponad 1 m (stan na maj 2020 r.) (ryc. 2 – patrz str. 666).

Dlatego w ostatnich latach w kilku przekrojach na odcinku pomiędzy km 133,6–133,7 wykonano analizy stateczności klifu (ryc. 3) (Zabuski, Korzec, 2017a, b; Zabuski, 2018). Natomiast w ostatnim okresie w przekroju na przedłużeniu ulicy Słowackiego (km 133,7) przeprowadzono kompleksowe badania klifu, obejmujące m.in. geodezyjne pomiary terenowe, badania laboratoryjne gruntów, pomiary inklinometryczne przemieszczenia oraz obliczenia stateczności.

<sup>1</sup> Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk, ul. Kościarska 7, 80-328 Gdańsk; [leslawzabuski@ibwpan.gda.pl](mailto:leslawzabuski@ibwpan.gda.pl); [marekkulczykowski@ibwpan.gda.pl](mailto:marekkulczykowski@ibwpan.gda.pl)



Ryc. 1. Brzeg klifowy w Jastrzębiej Górze (<https://www.googleearth.com>)

Fig. 1. Cliff bank in Jastrzębiej Góra (<https://www.googleearth.com>)

Na podjęcie decyzji o przeprowadzeniu badań złożyło się kilka przyczyn. Przede wszystkim, z uwagi na brak aktualnych danych we wszystkich poprzednich badaniach, wykorzystywano model geologiczny i geomechaniczny opracowany przed kilkunastoma laty (Świdziński, 2006). Od tego czasu miało miejsce wielokrotne nawadnianie i wysuszenie oraz abrazja brzegu, erozja i przemieszczenia ośrodka gruntowego, co prowadziło do rozluźnienia i obniżenia wytrzymałości gruntów budujących klif. Po drugie uznano, że zastosowanie jednego archiwalnego modelu do analiz w różnych przekrojach mogło być przyczyną błędów w modelowaniu, ponieważ mimo stosunkowo niewielkich odległości między przekrojami układy warstw i parametry gruntów mogły być różne. Po trzecie uznano, iż wskazana jest weryfikacja wyników analizy obliczeniowej poprzez ich porównanie z wynikami pomiarów inklinometrycznych przemieszczeń w otworze wykonanym na zboczu klifowym (por. ryc. 3). Takie porównanie umożliwi zlokalizowanie aktywnej współcześnie strefy zsuwu oraz określenie jej zasięgu. W żadnej z wcześniejszych analiz nie weryfikowano w ten sposób wyników obliczeń stateczności omawianego odcinka klifu.

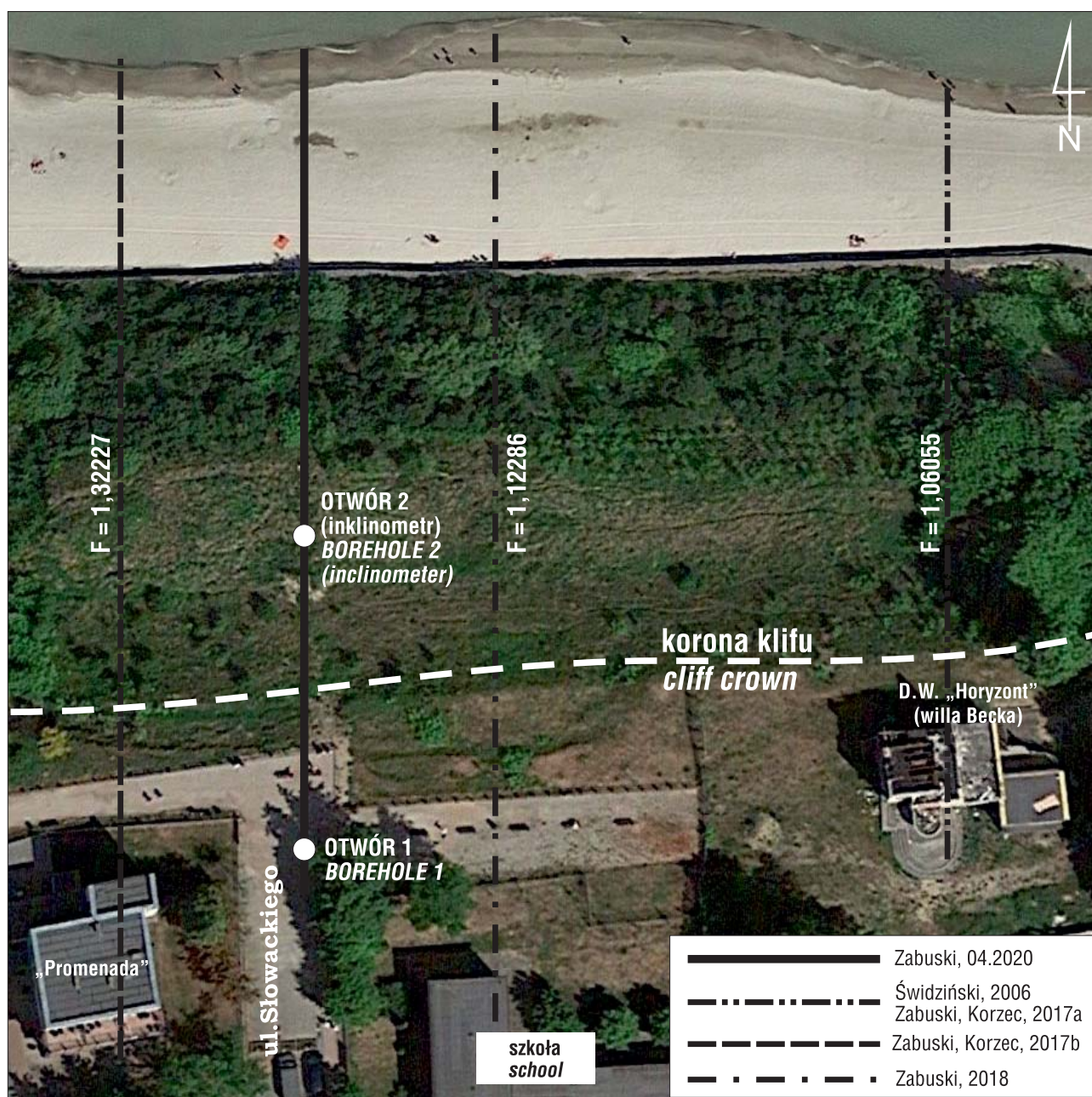
### RZEŻBA I GEOLOGIA KLIFU ORAZ PROCESY EROZYJNE I OSUWISKOWE

Pod względem geomorfologicznym teren badań leży w strefie krawędziowej wysoczyzny morenowej, w obszarze Pobrzeża Kaszubskiego. Jego morfologia jest typową formą młodoglacjalną, ukształtowaną w wyniku działalności akumulacyjnej lądolodu w czasie ostatniego zlodowacenia północno-polskiego (wisty) fazy pomorskiej. Najbardziej wysunięty na północ odcinek polskiego brzegu

opada ku Bałtykowi stromymi klifami, których rzeźbę w decydującym stopniu kształtowały i kształtują procesy osuwiskowe oraz abrazja brzegu (Skompski, 2001; Jurys i in., 2007; Uścińowicz i in., 2014a, b, 2017; Małka i in., 2018). Korona klifu wznosi się tu na wysokość od 30 do 35 m nad średni poziom morza. Podłoże gruntowe jest zbudowane z utworów plejstoceny zlodowacenia północno-polskiego o genezie lodowcowej i wodnolodowcowej. Na mapie geologicznej powiatu puckiego, opracowanej na podstawie Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 500 000 (Marks i in., 2006) wyróżnia się dwie kategorie gruntów. Pierwsza to grunty spoiste nieprzepuszczalne reprezentowane przez ily warwowe i gliny zwałowe, druga to piaski i żwiry polodowcowe.

Brzeg klifowy w Jastrzębiej Górze, podobnie jak duża część klifów południowego Bałtyku, ulega erozji od wielu lat. Oszacowana średnia prędkość erodowania i w konsekwencji cofania się klifu w Jastrzębiej Górze, w latach 1875–1975 wg Sawickiego i in. (2002) wynosiła 0,3 m/rok, zaś Subotowicz (1982) szacuje ją na 0,35–0,47 m/rok. Niszczeniu brzegu towarzyszyła i towarzyszy destrukcja gabionowej opaski brzegowej oraz budowli istniejących w sąsiedztwie plaży. Oprócz osunięcia się fragmentu budynku D.W. *Horyzont* należy wspomnieć o zniszczeniu wieży wyciągowej (windy) *Światowid* (ryc. 4 – patrz str. 666). Wieża ta powstała na styku plaży z klifem przed II wojną światową. Wybuch wojny uniemożliwił jej wyposażenie i budowla została ukończona dopiero w roku 1966. Winda działała zaledwie pięć sezonów. W styczniu 1981 r. podczas silnego sztormu wieża się przechyliła, a na początku 1982 r. wiatr spowodował jej całkowite zawalenie.

W ostatnich trzydziestu latach praktycznie na całym analizowanym odcinku obserwuje się wzrastającą aktyw-



**Ryc. 3.** Lokalizacja przekroju obliczeniowego z 2020 r. oraz przekrojów archiwalnych wraz ze współczynnikami stateczności  $F$  na odcinku km 133,65–133,85 (<https://www.google.pl/maps/>)

**Fig. 3.** Location of the currently analyzed cross-section (2020) and stability factors  $F$  of the archive cross-sections in Jastrzębia Góra, km 133.65–133.85 (<https://www.google.pl/maps/>)

ność osuwiskową, powodującą zwiększoną prędkość cofania się korony klifu. Średnią prędkość procesu na odcinku pomiędzy km 133,5 a 134,5 szacuje się na ok. 1,0 m/rok, a lokalnie na nawet więcej (Gwizdała i in., 1992; Tejchman i in., 1995; Subotowicz, 2015). Obserwowane procesy osuwiskowe na wybrzeżach klifowych są najczęściej skutkiem abrazji morskiej, powodującej sukcesywną degradację podstawy klifu. Jednakże na osuwanie się klifu jastrzębiogórskiego wpływają przede wszystkim tzw. czynniki związane z budową geologiczną, obecnością wody podziemnej oraz znaczną deniwelacją terenu przy dużym nachyleniu zboczy klifowych.

Aktywność osuwiskowa sprawiła, że pod koniec XX w. był on objęty szczegółowymi badaniami geologicznymi i geotechnicznymi (m.in. Subotowicz, 1982, 2000, 2003;

Gwizdała i in., 1992/1993; Tejchman i in., 1995; Jurys i in., 2014; Uścińowicz i in., 2014a, b, 2017). Rozpoznano wówczas strukturę geologiczną i warunki hydrogeologiczne wybranych fragmentów zboczy klifowych oraz mechanizmy generujące osuwiska. Opracowano również metody prognozowania, które pozwalają na wyznaczenie stref zagrożenia osuwiskowego klifu. Wyniki badań posłużyły m.in. do opracowania projektu stabilizacji oraz realizacji zabezpieczenia klifu w postaci dwustopniowej konstrukcji podporowej z gruntu zbrojonego (Unczur, 2005).

#### WSPÓŁCZESNE BADANIA KLIFU NA ODCINKU 133,65–133,75 KM

Po wykonaniu w 2005 r. prac stabilizujących klifu na odcinku 133,65–133,75 km analizowany obecnie przekrój

ma kształt schodkowy (ryc. 5). Korona klifu znajduje się na wysokości 30,5 m n.p.m. Górna część zbocza, o nachyleniu ok. 30°, obniża się do poziomu 22 m, gdzie znajduje się taras o długości ok. 15 m zbudowany z gruntów *niekontrolowanych* (nN), stanowiący część konstrukcji podporowej zbocza (nasypu). Występują tu podmokłości w zagłębieniach bezodpływowych, na których rozrasta się roślinność hydrofilna. Utrudniony spływ wód opadowych i pochodzących z roztopów powoduje, że woda infiltruje w głąb podłoża, nawadniając grunty, co w konsekwencji powoduje obniżenie ich wytrzymałości. Poniżej tarasu aż do poziomu plaży zbocze jest ponownie nachylone pod kątem ok. 30°. Są tu widoczne liczne zagłębienia i niewielkie wypiętrzenia. Przy podstawie zbocze jest podparte gabionowym murem oporowym (opaską) o wysokości ok. 1,0–1,5 m.

Pomimo wykonanych zabezpieczeń na zboczu są widoczne formy świadczące o deformacjach osuwiskowych (por. ryc. 2). Zdecydowano się zatem na kontynuację badań w celu oceny współczesnej aktywności osuwiskowej oraz możliwości ostatecznej stabilizacji tej części klifu. Zakres badań przeprowadzonych w latach 2019–2020 obejmował:

- wykonanie dwóch otworów wiertniczych wraz z makroskopowym opisem rdzeni, umożliwiającym identyfikację rodzajów gruntów i określenie rozmieszczenia ich warstw w zboczu;
- przeprowadzenie badań laboratoryjnych metodą trójosiowego ściskania, dla określenia wielkości parametrów wytrzymałości na ścinanie (spójności i kąta tarcia) gruntów pobranych z otworów;

- wykonanie 16 serii pomiarów inklinometrycznych przemieszczenia wgłębnego w celu identyfikacji ruchów osuwiskowych na klifie (m.in. głębokości strefy zsuwu)<sup>2</sup>;
- przeprowadzenie analizy stateczności klifu z uwzględnieniem danych i wyników z wymienionych badań i pomiarów.

#### Wiercenie otworów i makroskopowy opis rdzeni wiertniczych

W przekroju wykonano dwa otwory badawcze. Otwór nr 1 znajduje się na koronie klifu w odległości ok. 4 m od jego krawędzi, zaś nr 2 jest wykonany na środku tarasu (por. ryc. 5). Prace wiertnicze przeprowadziła firma INGEO z Gdańska, która wykonała raport z badań geologicznych (Cieślak, 2019). Z nieuszkodzonych odcinków rdzeni pobrano próbki gruntu o nienaruszonej strukturze (tzw. NNS) do badań laboratoryjnych. Analiza rdzeni wskazuje, że są one silnie zdeintegrowane (ryc. 6). Z tego powodu pobrano jedynie 8 próbek NNS, przy czym część z nich była również w niewielkim stopniu naruszona. Utrudniało to lub uniemożliwiło wypreparowanie z nich próbek do badań laboratoryjnych.

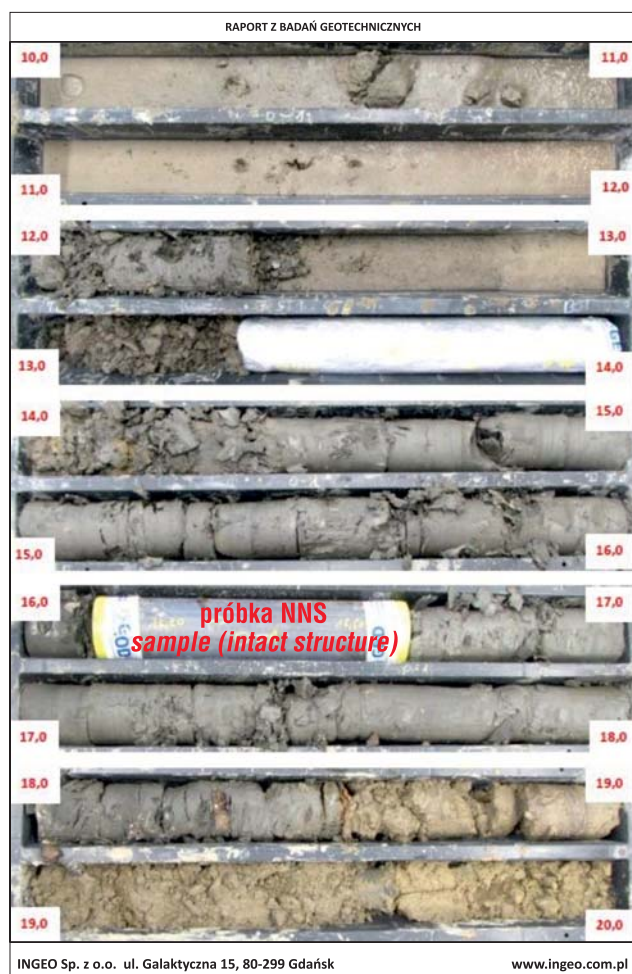
Rdzenie wiertniczne z obydwu otworów wykazują podobny układ gruntów w zboczu. Przykładowo, w rdzeniu z otworu nr 2 do głębokości ok. 6 m występują piaski drobne i średnie, a także okruchy skalne (o szorstkich ściankach). Jest to najprawdopodobniej grunt, z którego



Ryc. 5. Przekrój klifu na km 133,7 i lokalizacja otworów wiertniczych nr 1 i nr 2

Fig. 5. Cross-section at km 133.7 and location of boreholes No.1 and No.2

<sup>2</sup> Pomiaru są prowadzone na podstawie umowy pomiędzy UM w Gdyni i IBW PAN w Gdańsku. Dotychczas przeprowadzono pięć serii pomiarowych, a zakończenie pomiarów przewiduje się w grudniu 2021 r.



**Ryc. 6.** Fragment rdzenia z otworu wiertniczego nr 1, Jastrzębia Góra, km 133,7. Fot. B. Cieślak, INGEO

**Fig. 6.** Part of the core from the borehole No.1, Jastrzębia Góra, km 133.7. Photo by W. Cieślak, INGEO

wykonano konstrukcję podpierającą, zbrojoną geosiatką. Poniżej, w strefie na głębokości otworu od 6 do ok. 8–9 m występuje grunt spoisty w postaci gliny piaszczystej, pylastej plastycznej i twaroplastycznej oraz piasek gliniasty. Od głębokości ok. 9 m do spągu otworu na głębokości 25 m dominują grunty sypane – piaski drobne i pylaste. Identyczne grunty stwierdzono w otworze nr 1.

#### Badania laboratoryjne parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów z rdzeni wiertniczych

Badania parametrów fizycznych i wytrzymałościowych gruntów pobranych z otworów wiertniczych wykonano w laboratorium Instytutu Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk (IBW PAN). Wytrzymałość na ścinanie wyznaczono w aparacie trójosiowego ściskania (ryc. 7 – patrz str. 666). Średnica badanych próbek wynosiła 70 mm, a wysokość 130–170 mm.

Procedura badań wytrzymałościowych obejmowała dwie fazy, tj. konsolidację gruntu oraz ścinanie. Konsolidacja pro-

wadzona do zaniku przyrostów odkształceń trwała nawet kilka dni. Następnie właściwe badanie ścinania wykonywano przy trzech poziomach naprężenia bocznego, biorąc pod uwagę głębokość, z której pobrano próbkę i zakładając, iż gęstość gruntu jest równa  $2,0 \text{ t/m}^3$ , a stosunek ciśnienia poziomego do pionowego w masywie zbocza wynosi 0,5. Przykładowo, w przypadku próbki pobranej z głębokości 4,5–5,0 m zastosowano trzy poziomy naprężenia bocznego wynoszące: 47,5, 95,0 i 142,5 kPa.

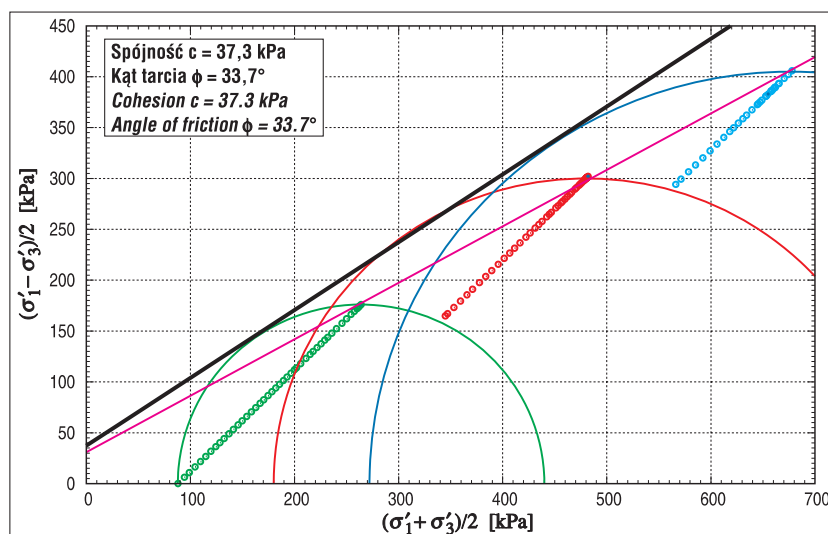
Badanie rozpoczynano przy najniższym poziomie naprężenia bocznego, a obciążenie pionowe zwiększano do momentu, w którym następowało ścięcie próbki, objawiające się zanikiem przyrostów naprężenia przy rosnącym przemieszczeniu. Zwiększano następnie obciążenie boczne do drugiego poziomu i powtarzano powyższą procedurę. Podobnie postępowano przy trzecim, najwyższym poziomie obciążenia. Na tej podstawie, konstruując koła Mohra i ich obwiednię, określano spójność i kąt tarcia wewnętrzny (ryc. 8).

Zbadano siedem próbek gruntów. Zestawienie wartości spójności i kąta tarcia oraz ciężarów objętościowych gruntu w próbkach i ich wilgotności zamieszczono w tabeli 1. Ze względu na ograniczenia techniczne badań jedynie próbkę z otworu nr 1 z (gł. 2,4–3,0 m) zbadano przy dwóch różnych wartościach wilgotności, tj. przy wilgotności naturalnej  $w_n = 11,6\%$  i w stanie pełnego nasycenia.

#### Analiza stateczności zbocza klifowego

Warunki stateczności analizowano poprzez obliczenia numeryczne przy zastosowaniu programu komputerowego FLAC2D (Itasca C.G. 2011), opartego na metodzie różnic skończonych (MRS). Program oblicza naprężenie, przemieszczenie, określa stan (sprężysty, zniszczony), rodzaj zniszczenia (ścięcie, rozerwanie) itp. w każdej strefie RS bądź w punkcie węzłowym dla sprężystego bądź sprężysto-plastycznego modelu ośrodka.

Model geomechaniczny i numeryczny klifu zbudowano na podstawie informacji o geometrii i właściwościach geotechnicznych ośrodka gruntowego oraz podporowej

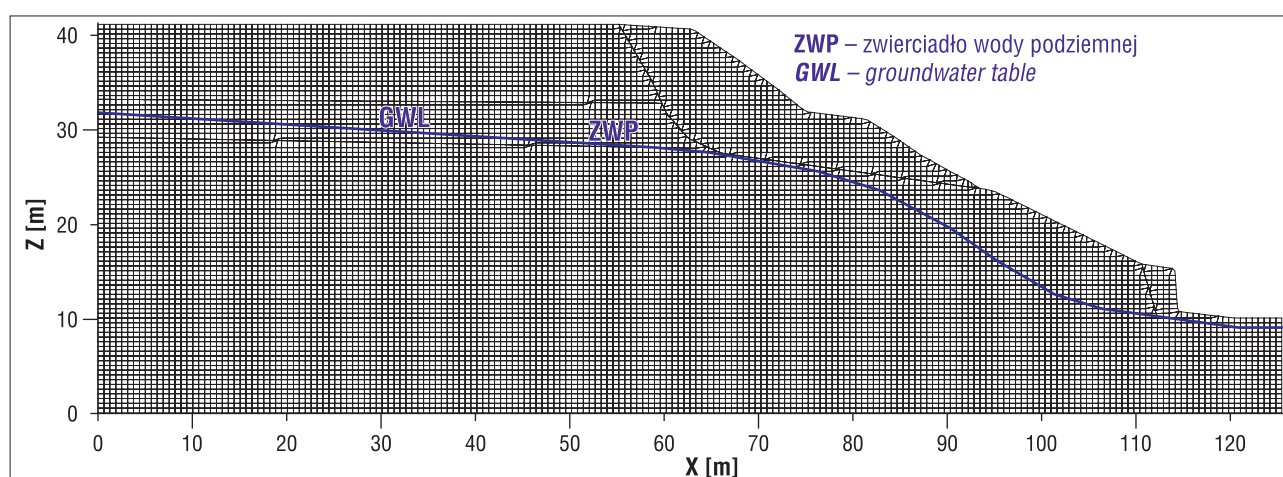


**Ryc. 8.** Przykładowe wyniki badania; piasek gliniasty z otworu nr 1, gł. 27,1–27,7 m (przecięcie czarnej prostej z osią pionową określa spójność, zaś jej nachylenie – kąt tarcia)  
**Fig. 8.** Results of the test; loamy sand from the borehole No.1, depth 27.1–27.7 m (intersection of the black line with the vertical axis determines cohesion and its inclination – friction angle)

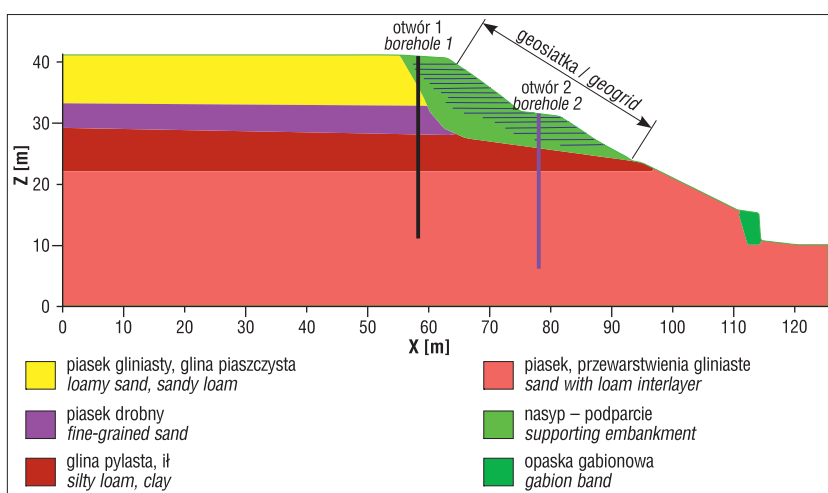
**Tab. 1.** Parametry geotechniczne gruntów określone w badaniach laboratoryjnych  
**Table 1.** Geotechnical parameters of soils determined in laboratory tests

Nr otworu Borehole No.	Głębokość pobrania Sampling dept [m]	Rodzaj gruntu Soil type	Kąt tarcia Angle of friction $\phi^{(n)}$ [°]	Spójność Cohesion $c^{(n)}$ [kPa]	Ciężar objętościowy Volumetric weight $\gamma^{(n)}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wilgotność Moisture content $w_n$ [%]
2	2/7,7–8,0	G <sub>π</sub> /G <sub>p</sub>	25,6	5,7	17,05	20,3
1	1/4,5–5,0	P <sub>g</sub> /G <sub>p</sub>	23,4	61,4	–	–
1	1/13,5–14,0	G <sub>πz</sub> /I	14,4	11,8	15,65	23,5
1	1/2,4–3,0	P <sub>g</sub> /G <sub>p</sub>	31,8	10,1	19,34	–
1	1/2,4–3,0	P <sub>g</sub> /G <sub>p</sub>	26,2	51,9	19,78	11,6
1	1/16,2–16,6	G <sub>πz</sub> /II	9,1	68,8	16,05	22,7
1	1/27,1–27,7	P <sub>s</sub>	33,7	37,3	20,57	7,4
1	1/5,0–5,8*	P <sub>g</sub> /G <sub>p</sub>	30,0	14,2	20,30	10,0

\* próbka rekonstruowana / reconstituted soil sample.



**Ryc. 9.** Siatka różnic skończonych  
**Fig. 9.** Finite difference mesh



**Ryc. 10.** Podział modelu obliczeniowego na warstwy geotechniczne

**Fig. 10.** Division of the numerical model into geotechnical layers

konstrukcji stabilizującej. Modelowane zbocze (klif) podzielono na strefy różnic skończonych (ryc. 9).

Podział zbocza na warstwy geotechniczne przedstawiono na rycinie 10. Z uwagi na słabą jakość rdzeni (co widać na rycinie 6) na pewnych odcinkach otworów nie

było możliwe pobranie próbek o nienaruszonej strukturze. Dlatego, aby umożliwić zbudowanie *kompletnego* modelu obliczeniowego do wyznaczenia parametrów wytrzymałościowych konieczne było skorzystanie z norm i literatury (m.in. Wiłun, 1982). W niewielkim stopniu pomocne były także wyniki z wcześniejszych opracowań (np. Świdziński, 2006).

Masyw klifu w analizowanym przekroju ustabilizowano nasypem z gruntu zbrojonego geosiatką HDPE rozmieszczoną w rozstawach ok. 75 cm. Do obliczeń przyjęto następujące wielkości wymagane w modelu FLAC<sup>3</sup>: grubość geosiatki – 2 mm; wytrzymałość na rozciąganie –

<sup>3</sup> Obliczenia testowe wykazały, iż wartości parametrów mechanicznych siatki w analizowanym modelu nie mają praktycznie wpływu na wynik obliczeń, gdyż powierzchnia poślizgu osuwiska przebiega poniżej konstrukcji stabilizującej.

**Tab. 2.** Parametry geotechniczne gruntów w modelu obliczeniowym  
**Table 2.** Geotechnical parameters of soils in the numerical model

Rodzaj gruntu <i>Soil type</i>	Moduł sprężystości objętościowej <i>Volumetric elasticity modulus</i> K [kPa]	Moduł sprężystości postaciowej <i>Shear elasticity modulus</i> G [kPa]	Ciężar objętościowy <i>Volumetric weight</i> $\gamma^{(n)}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Spójność <i>Cohesion</i> $c^{(n)}$ [kPa]	Kąt tarcia <i>Angle of friction</i> $\phi^{(n)}$ [°]
Piasek gliniasty, głina piaszczysta <i>Loamy sand, sandy loam</i>	50000	23 077	19,56	41,1	21,1
Piasek drobny <i>Fine-grained sand</i>	66 666	30 769	18,00	0,0	33,0
Głina pylasta, il <i>Silty loam, clay</i>	50 000	23 077	20,50	13,0	9,1
Piasek różnoziarnisty z przewarstwieniami gliny <i>Variously grained sand interlayered by loam</i>	83 333	38 462	20,60	21,8	33,7
Nasyp – podparcie <i>Supporting embankment</i>	83 333	38 462	19,00	100,0	35,0
Opaska gabionowa <i>Gabion band</i>	20 833	9615	17,50	50,0	40,0

50 kN/m; moduł sprężystości – 10 MPa; sztywność układu geosiatka–grunt – 1,0 MN/m/m; kąt tarcia między geosiatką i gruntem – 28°.

Parametry geotechniczne warstw gruntu oraz opaski gabionowej zamieszczono w tabeli 2. Parametry sprężystości gruntów i materiałów przyjęto na podstawie danych z norm i literatury (np. Wiłun, 1982). Położenie zwierciadła wody podziemnej (ZWP) wynika z układu warstw w masywie klifu. W rejonie otworu nr 2 znajduje się ono w strefie kontaktu nasypu podpierającego i półprzepuszczalnej gliny (Lidzbarski, Tarnawska, 2014).

#### Pomiary inklinometryczne przemieszczenia

Istotne i cenne informacje o naturze i zasięgu zsuwu dostarczyły wyniki pomiarów inklinometrycznych przemieszczenia w otworze nr 2 (ryc. 11). Pomiary rozpoczęto w grudniu 2019 r. (pomiar bazowy) i do kwietnia 2020 r. wykonano 4 pomiary w odstępach miesięcznych. Rowki kolumny inklinometrycznej są ustawione pod kątem  $\pm 45^\circ$  w stosunku do kierunku nachylenia zbocza. Górna oś pozioma na wykresie z lewej strony na rycinie 11 skierowana jest na północny wschód, zaś z prawej strony na północny zachód, podczas gdy zbocze zapada na północ. Ponieważ przemieszczenie w obydwu kierunkach jest równe ok. 8 mm, to kierunek przemieszczenia wypadkowego, wynoszącego ok. 11,5 mm, jest w przybliżeniu zgodny z kierunkiem zapadania zbocza. Wyniki pomiarów wskazują na wyraźny zsuw z niewielką rotacją górnego fragmentu klifu w otworze na głębokości 5,5–9,0 m, tj. w strefie o miąższości 3,5 m, zaś głębsze partie zbocza nie ulegają osuwaniu. W odniesieniu do poziomu morza wychodnia strefy poślizgu jest położona na rzędnej 12–15 m, a spąg warstwy gliny i łu na poziomie ok. 13 m (por. ryc. 10). Bardzo mały przyrost przemieszczenia na głębokości ok. 21 m jest jedynie wynikiem dopasowywania się kolumny inklinometrycznej do otoczenia otworu. Przyrost ten nastąpił pomiędzy grudniem 2019 i styczniem 2020 r. i był jednorazowy, zaś następne pomiary nie wykazały już żadnych przemieszczeń na tej głębokości. Dotychczasowy ruch osuwiskowy zachodził ze stałą, niewielką prędkością, średnio ok.

2,5 mm/miesiąc; wg klasyfikacji Crudena i Varnesa (1996) jest to ruch *bardzo powolny i ekstremalnie powolny*.

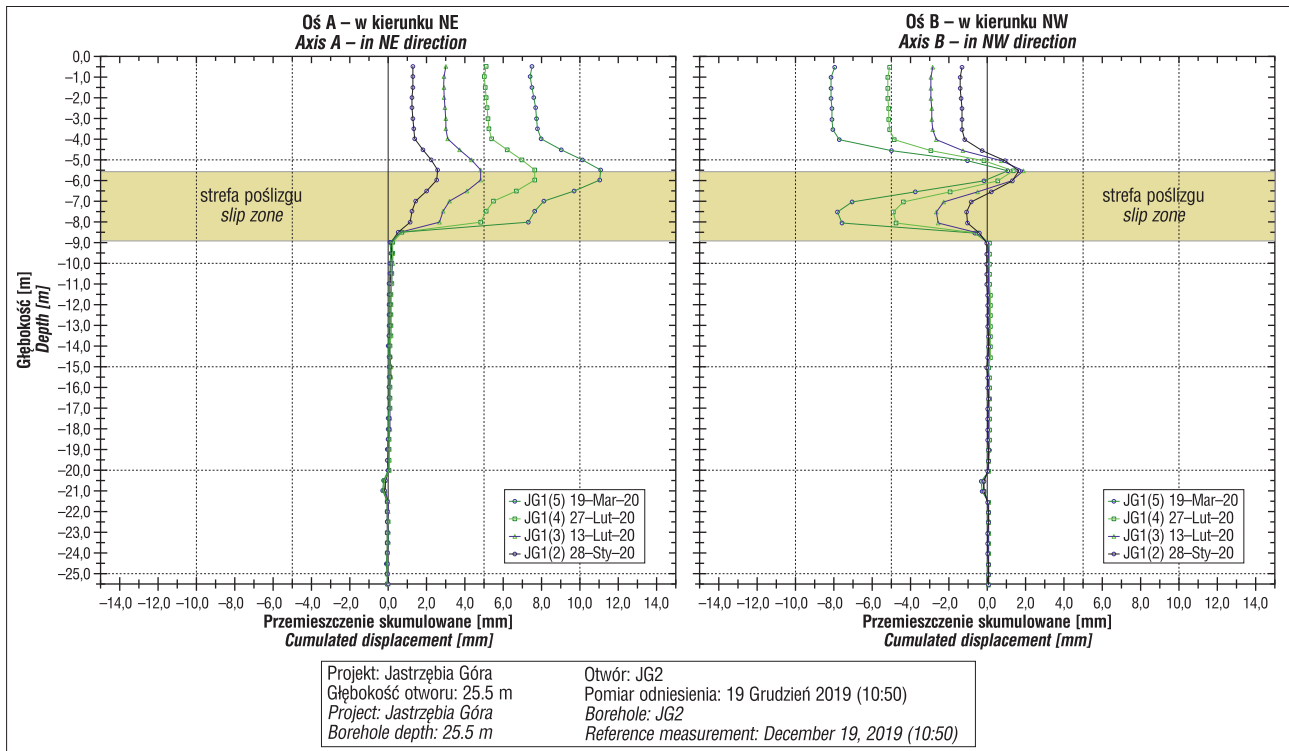
#### DYSKUSJA WYNIKÓW OBLICZEŃ

Na rycinie 12 przedstawiono wykres maksymalnych odkształceń stycznych, które określają lokalizację strefy poślizgu osuwiska. Obliczony współczynnik stateczności  $F = 0,892578$  jest mniejszy od jedności, co wskazuje, iż zbocze jest niestateczne i współcześnie (wiosna 2020) zachodzi proces jego permanentnego zsuwu. Na kolejnych rycinach 13 i 14 przedstawiono odpowiednio składowe poziome przemieszczenia oraz wektory przemieszczenia całkowitego. Także na tych wykresach jest wyraźnie widoczny zasięg ruchu osuwiskowego ograniczony do górnej partii zbocza.

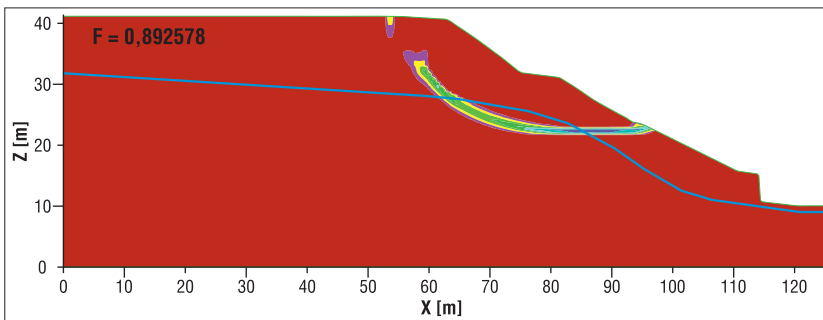
Charakterystyczne jest ograniczenie bryły osuwiska do górnej partii klifu. Wprowadzie na możliwość takiego ograniczenia wskazywano w publikacji Sikory i in. (2015), jednak w innych pracach wychodnię powierzchni poślizgu lokalizowano w rejonie podstawy klifu (np. Świdziński, 2006; Zabuski, Korzec, 2017a, b; Zabuski, 2018). Uzyskane obecnie wyniki w postaci przestrzennie ograniczonej bryły zsuwu, potwierdzone wynikami pomiarów inklinometrycznych, pokazują rzeczywisty przebieg procesu osuwiskowego, różniący się istotnie od przedstawianego we wcześniejszych opracowaniach. Trzeba zatem podkreślić korzyści wynikające z pomiarów inklinometrycznych, których rezultaty umożliwiają weryfikację wyników obliczeń.

#### WNIOSKI

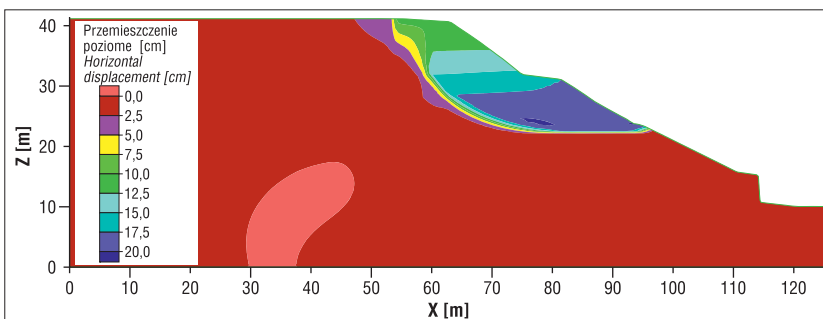
Wyniki analizy stateczności wskazują, że klif w Jastrzębiej Górze w przekroju km 133,7 jest niestateczny, co jest zgodne z rezultatami licznych wcześniejszych obserwacji i badań (m.in. Subotowicz, 2003; Świdziński, 2006; Jurys i in., 2014; Uścińowicz i in., 2014b; Sikora i in., 2015). Dowodzą tego wyniki pomiarów inklinometrycznych wskazujące na ciągły, jednostajny ruch osuwiskowy. Ponadto wyniki analizy stateczności, zweryfikowane wynikami pomiarów inklinometrycznych, wskazują, że zasięg bryły zsuwu jest ograniczony do górnej partii zbocza, dlatego



Ryc. 11. Krzywe przemieszczenia skumulowanego otworu nr 2  
 Fig. 11. Curves of cumulative displacement measured in borehole No.2



Ryc. 12. Strefa poślizgu osuwiska; głębokość strefy w części dolnej odpowiada w przybliżeniu głębokości strefy określonej w pomiarach inklinometrycznych (por. ryc. 11)  
 Fig. 12. Slip zone of the landslide: zone depth in the lower part corresponds approximately to the depth of such a zone determined by inclinometric measurements (see Fig. 11)



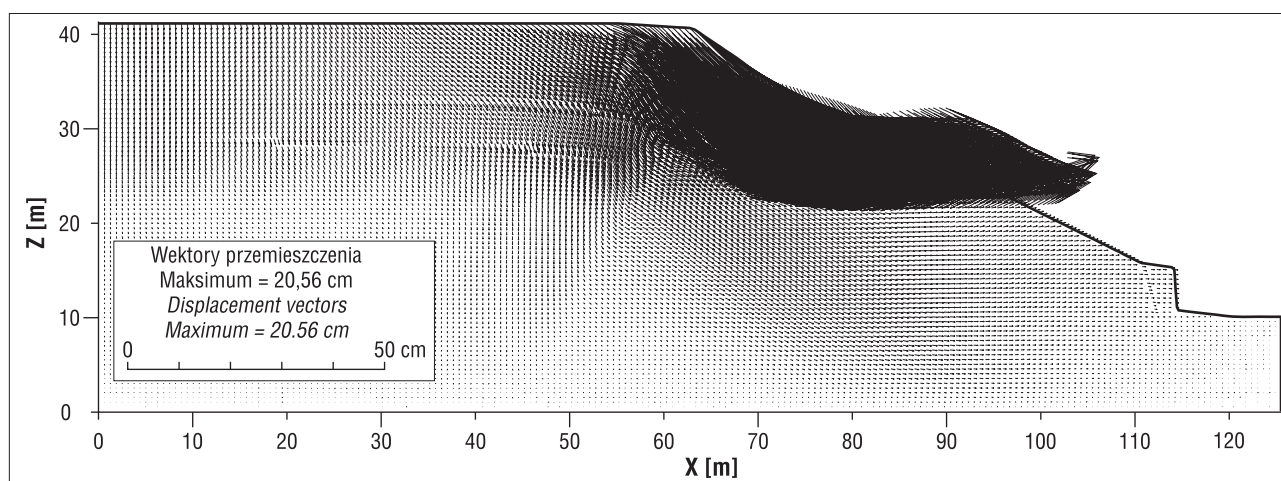
Ryc. 13. Pole składowej poziomej przemieszczenia klifu  
 Fig. 13. Distribution of the horizontal displacement of the cliff

można mieć wątpliwości co do słuszności stwierdzenia w pracy Subotowicza (2015), iż *abraza jest bezpośrednią przyczyną rozwoju zjawisk osuwiskowych na klifie*. Trzeba zauważyć, że niemal wszystkie dotychczasowe analizy

błędnie lokalizowały wychodnię osuwiska w rejonie podstawy zbocza klifowego, co mogło mieć wpływ na metody stabilizowania klifu po wystąpieniu i okresowym aktywizowaniu się na nim w przeszłości rozległego osuwiska. Nie można jednak pominąć możliwego pozytywnego wpływu wcześniejszych prac stabilizujących na ograniczenie zasięgu obecnego ruchu osuwiskowego do górnej partii zbocza.

Mierzone przemieszczenia są obecnie niewielkie, jednak nie można wykluczyć ich przyśpieszenia i niekontrolowanego zsuwu zbocza w przyszłości. Dlatego, niezależnie od pomiarów inklinometrycznych (wglębnych), byłyby wskazane prowadzenie pomiarów piezometrycznych położenia zwierciadła wód podziemnych oraz systematycznych pomiarów geodezyjnych, których wyniki wzbogaciłyby informację o stanie zbocza. Zalecane jest również podjęcie prac w celu ustabilizowania osuwiska. Uzyskane dotychczas wyniki pomiarów i obliczeń wskazują, iż ewentualne prace zmierzające do ustabilizowania klifu powinny się koncentrować głównie w jego górnej części. Bardzo ważne jest, aby jakakolwiek budowla podpierająca była połączona konstrukcyjnie ze stabilnym podłożem, np. przez gwoździowanie lub palowanie. Takie połączenie umożliwiłoby ostateczne ustabilizowanie klifu.





**Ryc. 14.** Rozkład wektorów przemieszczenia całkowitego klifu  
**Fig. 14.** Distribution of vectors of the total displacement of the cliff

Autorzy składają podziękowania Recenzentom za cenne i wnikliwe uwagi, szczególnie w zakresie literatury charakteryzującej właściwości geologiczne rejonu badań. Uwagi te przyczyniły się do udoskonalenia tekstu oraz formy artykułu.

## LITERATURA

- CIEŚLAK W. 2019 – Raport z badań geotechnicznych. INGEO, Gdańsk.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. 1996 – Landslide types and processes. [W:] Landslides investigation and Mitigation, Special report 247, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington D.C.: 36–75.
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z. 2008 – Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GWIZDAŁA K., TEJCHMAN A., ŚWIDZIŃSKI W. 1992 – Numerical prognosis of cliff stability. Proc. Int. Conf. on Geotechnics and Computers, Paryż.
- GWIZDAŁA K., TEJCHMAN A., BRZOZOWSKI T., KRASIŃSKI A., ŚWIDZIŃSKI W. 1992/93 – Projekt badawczy: „Stateczność i ochrona klifów polskiego wybrzeża morskiego”, grant KBN nr 700269101, cz. I, II i III. Katedra Geotechniki, Wyzd. Hydrotechniki PG, rap. wew.
- ITASCA C.G. 2011 – FLAC 7.0 Manual, Minneapolis, USA.
- JURYS L., JEGLIŃSKI W., WOŹNIAK T., NEUMANN M., RUDENSKA W. 2007 – Objasnienia do Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gmina Władysławowo, powiat pucki, województwo pomorskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JURYS L., FRYDEL J., UŚCINOWICZ G. 2014 – Geodynamiczne cechy klifu w Jastrzębiej Górze, rozdział 7. [W:] Sokołowski R.J. (red.), Ewolucja środowisk sedymentacyjnych regionu Półwyspu Kaszubskiego. Wyzd. Oceanografii i Geografii UG: 63–66
- LIDZBARSKI M., TARNAWSKA E. 2015 – Badania hydrogeologiczne na wybrzeżu klifowym w diagnozowaniu i prognozowaniu geozagrożeń. Prz. Geol., 63 (10/2): 901–907.
- MAŁKA A., JURYS L., GRABOWSKI D. 2018 – Objasnienia do Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, powiat pucki, województwo pomorskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MARKS L., BER A., GOGOŁEK W., PIOTROWSKA K. 2006 – Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SAWICKI A., SZMYTKIEWICZ M., ŚWIDZIŃSKI W., PRUSZAK Z. 2002 – Przyroda i sztuka inżynierska na przykładzie klifu w Jastrzębiej Górze. Inż. Mor., 5: 229–234.
- SIKORA Z., SUBOTOWICZ W., WYROŚLAK M., OSSOWSKI R. 2015 – Awaryjny stan brzegu klifowego w Jastrzębiej Górze. XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryjne Budowlane 2015”, Międzdroje: 449–460.
- SKOMPSKI S. 2001 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Puck (6), Puck N (1071). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SUBOTOWICZ W. 1982 – Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski. Ossolineum, Gdańsk.
- SUBOTOWICZ W. 2000 – Badania geodynamiczne klifów w Polsce i problem zabezpieczenia brzegu klifowego w Jastrzębiej Górze. Inż. Mor., 5: 252–257.
- SUBOTOWICZ W. 2003 – Osuwiska w rejonie byłego ośrodka wypoczynkowego „Horyzont” a problematyka ochrony brzegu klifowego w Jastrzębiej Górze. Inż. Mor., 24 (1): 10–14.
- SUBOTOWICZ W. 2015 – Brzeg klifowy w Jastrzębiej Górze i wielokrotne próby jego ochrony. Zesz. Nauk. Kujawskiej Szkoły Wyższej, 41: 19–27.
- ŚWIDZIŃSKI W. 2006 – Analiza stateczności fragmentu klifu w Jastrzębiej Górze, km 133,660–133,800, dot. projektu budowlano-wykonawczego stabilizacji zbocza klifu. IBW PAN Gdańsk, oprac. wew.
- TEJCHMAN A., GWIZDAŁA K., BRZOZOWSKI T., ŚWIDZIŃSKI W. 1993 – Komputerowa symulacja zjawisk osuwiskowych w rejonie klifów morskich. Mat. X Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Warszawa.
- TEJCHMAN A., GWIZDAŁA K., BRZOZOWSKI T., KRASIŃSKI A., ŚWIDZIŃSKI W. 1995 – Stateczność i ochrona klifów polskiego wybrzeża. Zakład Poligrafii PG, Gdańsk.
- TOMCZAK A. 1995 – Geological structure and Holocene evolution of the Polish coastal zone. [W:] Rotnicki K. (red.), Polish coast: past, present, future. J. Coast. Res., Spec. Iss., 22: 15–31.
- UNCZUR L. 2005 – Projekt zagospodarowania terenu stabilizacji klifu na odcinku brzegu morskiego km 133+660 – km 134+271 od DW „Bałtyk” do dawnego DW „Horyzont” w Jastrzębiej Górze. Zadanie 3 km 133+660 – km 133+800 odc. B, km 133+702 – 133+727. IEW Inżynieria i energetyka wodna L. Unczur.
- UŚCINOWICZ G., KRAMARSKA R., JURYS L., FRYDEL J., PRZEŹDZIECKI P. 2014a – Transformation of the coast in the Jastrzębia Góra region. The 12<sup>th</sup> Colloquium on Baltic Sea Marine Geology, Sept. 8–12, 2014, Leibniz Inst. Baltic Sea Res. Warnemünde. Abstract volume: 36.
- UŚCINOWICZ G., KRAMARSKA R., KAULBARSZ D., JURYS L., FRYDEL J., PRZEŹDZIECKI P., JEGLIŃSKI W. 2014b – Baltic Sea erosion; a case study from the Jastrzębia Góra region. Geologos, 20/4: 259–268.
- UŚCINOWICZ G., JURYS L., SZARAFIN T. 2016 – Landslides typology and processes in the cliffs of northern Poland. Abstract volume & Field Trip Guidebook of 13<sup>th</sup> Colloquium on Baltic Sea Marine Geology, Gdańsk: 37.
- UŚCINOWICZ G., JURYS L., SZARAFIN T. 2017 – The development of unconsolidated coastal cliffs (Pobrzeże Kaszubskie, Northern Poland). Geol. Quart., 61/2: 491–501.
- WIŁUN Z. 1982 – Zarys geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- ZABUSKI L., KORZEC A. 2017a – Ocena stateczności klifu w Jastrzębiej Górze w km 133,650–133,750. IBW PAN Gdańsk, oprac. wew.
- ZABUSKI L., KORZEC A. 2017b – Ocena stateczności klifu w Jastrzębiej Górze w km 133,750. IBW PAN Gdańsk, oprac. wew.
- ZABUSKI L. 2018 – Analiza stateczności klifu w Jastrzębiej Górze na wysokości działki nr 33/5. IBW PAN Gdańsk, oprac. wew.

Praca wpłynęła do redakcji 28.04.2020 r.  
 Akceptowano do druku 14.07.2020 r.

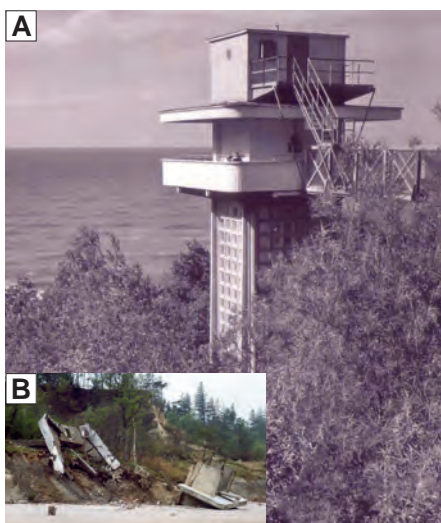
## Współczesne procesy osuwiskowe na klifie w Jastrzębiej Górze (patrz str. 682)

### Present-day landslide processes on the cliff in Jastrzębia Góra (see p. 682)



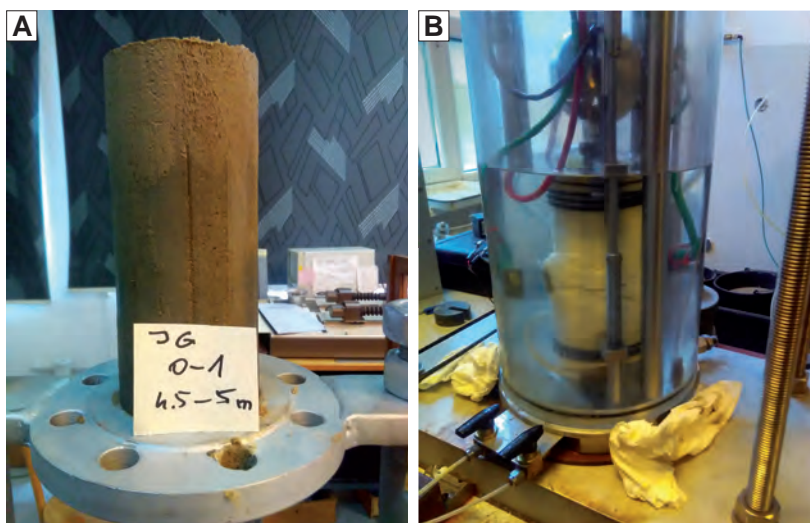
Ryc. 2. Skarpa główna osuwiska na koronie klifu (km 133,6–133,7). Fot. L. Zabuski

Fig. 2. Main scarp of the landslide on the cliff slope (km 133.6–133.7). Photo by L. Zabuski



Ryc. 4. A – wieża wyciągowa *Światowid* przed awarią (fot. K. Kamiński, pocztówka RUCH), B – zniszczona w 1982 r. (<https://fotokresy.pl/>)

Fig. 4. A – lift tower *Światowid* before the failure (photo by K. Kamiński, postcard by RUCH), B – destroyed in 1982 (<https://fotokresy.pl/>)



Ryc. 7. Badanie trójosiowego ściskania: A – próbka przygotowana do badania; B – próbka gruntu zdeformowana w końcowej fazie badania. Fot. L. Zabuski

Fig. 7. Triaxial compression test: A – specimen prepared for testing; B – deformed specimen at the final stage of the test. Photo by L. Zabuski