

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/385378803>

Osuwiska w rejonie Białej Góry jako przykład dynamicznych zmian środowiska geologicznego na polskim wybrzeżu

Chapter · October 2024

DOI: 10.12657/9788379865123-06

CITATIONS

0

READS

32

3 authors:



Zuzanna Krawczak

Adam Mickiewicz University in Poznań

3 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Igor Śniady

Adam Mickiewicz University in Poznań

8 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Maciej Dysierowicz

Adam Mickiewicz University in Poznań

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Zuzanna Krawczak, Igor Śniady, Maciej Dysierowicz

Osuwiska w rejonie Białej Góry jako przykład dynamicznych zmian środowiska geologicznego na polskim wybrzeżu

Streszczenie: Grawitacyjne ruchy masowe, obok powodzi i wstrząsów sejsmicznych, stanowią ważny czynnik kształtujący zmiany w środowisku geologicznym, będąc istotnym zagrożeniem zarówno dla infrastruktury technicznej, jak też zdrowia i życia człowieka. Aby przeciwdziałać ich negatywnym skutkom, należy przede wszystkim zrozumieć złożoność mechanizmów tych procesów i dzięki temu trafnie przewidywać prawdopodobieństwo ich występowania. Wśród obszarów predysponowanych do wystąpienia ruchów masowych znajdują się m.in. strefy wybrzeży morskich. Klifowa część wybrzeża Bałtyku nie jest tu wyjątkiem. Celami badań opisanych w artykule było: wyznaczenie granic stosunkowo rozległego osuwiska powstałego w ostatnim czasie w rejonie Białej Góry k. Międzyzdrojów (Woliński Park Narodowy), określenie jego potencjalnej płaszczyzny poślizgu oraz wskazanie przyczyn powstania w takiej lokalizacji. W tym celu przeprowadzono kartowanie geologiczno-inżynierskie oraz analizę danych LIDAR. Opracowano model warunków geotechnicznych i na tej podstawie obliczono stateczność zbocza wykorzystując algorytmy opracowane przez Bishopa, Morgensterna-Price’a oraz Spencera. Wykazano zmiany w morfologii klifu w latach 2011–2023 oraz okonturowano zasięg koluwiów na podstawie zmienności stopnia zagęszczenia gruntów, ustalonego za pomocą sondowania dynamicznego DPL. Wyniki badań dokumentują brak stateczności klifu w analizowanym rejonie, a z uwagi na niekorzystną jego geometrię oraz działanie sztormów oraz w mniejszym stopniu nawalnych deszczów, należy prognozować dalsze jego osuwanie.

Słowa kluczowe: geozagrożenia, osuwisko, klif, analiza stateczności zbocza

Wstęp

Grawitacyjne ruchy masowe należą do jednych z najczęściej występujących geozagrożeń generujących liczne katastrofy naturalne w różnych regionach Ziemi (Cała 2009; Mizerski, Graniczny 2022). W Polsce pośród różnych typów ruchów

grawitacyjnych dominują osuwiska. Od ich wielkości zależy stopień stwarzanego zagrożenia dla ludzi, infrastruktury oraz środowiska przyrodniczego (Bednarczyk 2007; Wójcik, Wojciechowski 2016). Jednym z miejsc o podwyższonym prawdopodobieństwie wystąpienia takich zjawisk są m.in. klifowe wybrzeża morskie (Dobrcki, Uścińowicz 2007).

Wyspa Wolin stanowi jeden z obszarów, na którym osuwanie się gruntów i zachodzące w efekcie tego cofanie się klifów odbywa się niemal ciągle (Kostrzewski i in. 2015, 2021; Winowski 2015). Nasilenie tych zjawisk oraz ich tempo jest jednak nierównomierne (Kostrzewski i in. 2017, 2021) i zależy od geometrii i budowy wewnętrznej klifów, m.in. od litologii w strefie zboczy, warunków hydrogeologicznych oraz występowania pokrywy roślinnej, która bezpośrednio warunkuje procesy morfogenetyczne (Horska-Schwarz 2005). Dodatkowymi czynnikami są warunki zewnętrzne, przede wszystkim hydrometeorologiczne (Horska-Schwarz 2005; Kostrzewski i in. 2017). Winowski i in. (2018) wskazują procesy abrazji jako główny mechanizm napędzający ruchy masowe na wolińskich klifach. Dodatkowym czynnikiem inicjującym osuwiska mogą być nawalne opady atmosferyczne oraz roztopy śnieżne (Winowski 2008; Tylkowski 2018).

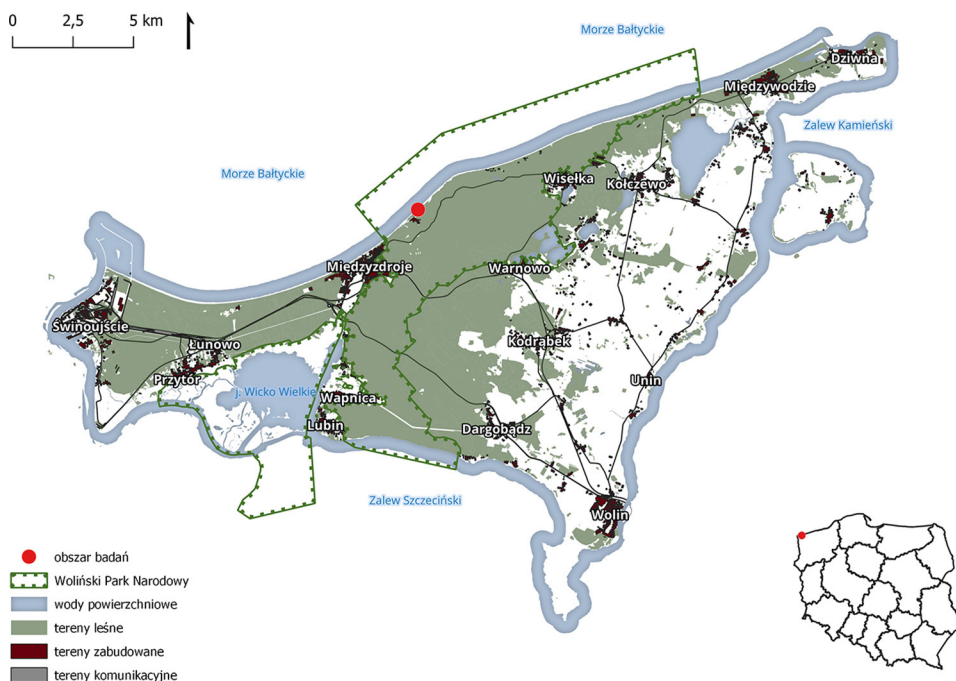
W związku z dokumentowanymi w licznych badaniach lokalnymi osuwiskami klifów wyspy Wolin (Kolander i in. 2013; Kostrzewski i in. 2015, 2021; Winowski 2015, 2020; Tylkowski 2018), zasadne ze względu zarówno na ochronę walorów przyrodniczych, jak i bezpieczeństwo ludzi staje się dogłębne zrozumienie procesów prowadzących do ruchów masowych na tym obszarze. Jednym z kluczowych problemów badania osuwisk jest rozpoznanie głębokości, przebiegu i kształtu powierzchni poślizgu osuwiska, co wymaga wykonania specjalistycznych analiz geologiczno-inżynierskich (Bednarczyk 2007; Wójcik, Wojciechowski 2016). Ruchy mas ziemnych tworzących zbocze można podzielić w ogólności na zsuwy – gdy powierzchnia poślizgu pokrywa się z pierwotną strefą obniżonej wytrzymałości na ścinanie (szczelina, rozpadlina w gruncie, granica warstw skalnych), a także osuwiska, które swoim zasięgiem obejmują także masy gruntów przylegające do zbocza u jego podstawy (dolnej krawędzi) lub teren powyżej górnej krawędzi – tzw. brewki zbocza. Obydwa wyżej wymienione typy przemieszczeń nazwane są jednak zazwyczaj osuwiskami (Pisarczyk 2005). Każdy proces osuwiskowy można podzielić na fazy: początkową, główną i końcową. W fazie początkowej tworzą się niewielkie powierzchnie ścięć zauważalne jako szczeliny oraz mikroprzemieszczenia. Faza główna charakteryzuje się przemieszczeniem masy gruntu w postaci zsuwającego bądź osuwającego się klina odłamu. W fazie końcowej natomiast ruch grawitacyjny ustaje i formuje się zbocze o nowym rozkładzie sił wewnątrzstrukturalnych odpowiedzialnych za zmieniony stan naprężeń geostatycznych. Zbocze dąży wówczas do uzyskania stanu równowagi naprężeń poprzez kolejne osuwiska (Kowalski 1988).

Celami artykułu są: (1) ocena zmian morfologii wybrzeża klifowego w rejonie Białej Góry na odcinku 300 m, zlokalizowanego na ok. 408 km według kilometrażu polskiego wybrzeża, (2) wyznaczenie granic osuwiska powstałego w 2023 r. w tym miejscu, (3) zdiagnozowanie przebiegu płaszczyzny poślizgu

mas ziemnych badanego osuwiska oraz (4) próba wskazania czynników odpowiedzialnych za powstanie analizowanego osuwiska.

Obszar badań

Obszar badań zlokalizowany jest w północno-zachodniej części województwa zachodniopomorskiego, 3 km na północny wschód od Międzyzdrojów, na terenie Wolińskiego Parku Narodowego (ryc. 1), w sąsiedztwie Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Wolin w Białej Górze. Według regionalizacji fizyczno-geograficznej Solona i in. (2018), leży on w obrębie mezoregionu wysp Uznam i Wolin, wchodzącego w skład makroregionu Pobrzeże Szczecińskie. Bezpośredni obiekt badań stanowi klif piaszczysto-gliniasty (według klasyfikacji Winowskiego i in. 2018). Podłoże klifu zbudowane jest z zaburzonych glaciektogenicznie glin będących częścią Wolińskiej Moreny Czołowej (Krygowski 1959). Górna część klifu, na skutek współdziałania procesów niszczących i akumulacyjnych, została pokryta piaskami koluwalnymi i eolicznymi (Hojan 2009, 2012; Winowski i in. 2018). Wysokość badanego klifu wynosi 60 m. Nachylenie zboczy w obrębie wyspy jest zróżnicowane i waha się w przedziale od 6 do 38°. Miejscami jednak, ze względu na występowanie wychodni glin, kąt nachylenia zbocza może dochodzić do 90° (Żynda 1962).



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań

Analizowany obszar charakteryzuje się występowaniem stosunkowo wysokich opadów atmosferycznych – na poziomie ok. 600 mm rocznie (Tomczyk, Bednorz 2022). Prędkość wiatru (większa niż w głębi lądu) uzyskuje średnią dobową wartość ok. 13,5 m/s (Tylkowski 2018). Wpływa to bezpośrednio na szerokość przekształcanego zbocza niszczonego działaniem procesów brzegowych, na co wskazuje wzór Kaczugina. Wiąże się to ze wzrostem efektywności erozji wywołanym większą głębokością fali rozmywającej, co wynika z wysokości falowania zależnej właśnie od prędkości wiatru (Kowalski 1988).

Metody badań

Podczas wizji terenowej ustalono wyraźnie widoczne kontury świeżego osuwiska zlokalizowanego w pobliżu Stacji Bazowej ZMŚP Wolin w Białej Górze. Wytyczono jego granice – zmierzono za pomocą taśmy mierniczej szerokość stożka usypiskowego na plaży, a także wytypowano miejsce w górnej części zbocza, skąd grunt był przemieszczany. W obrębie zakładanej niszy osuwiskowej i jezora osuwiskowego wytyczono linię przekroju obliczeniowego do określenia stateczności tak, aby przechodziła w gruntach koluwalnych. Wiercenia wykonywano „schodkowo” w taki sposób, aby po zsumowaniu poszczególnych profili otrzymać poglądowy syntetyczny profil litologiczny o miąższości kilkudziesięciu metrów. Wykonano 5 wierceń obrotowych świdrem ręcznym o średnicy 70 mm, z których pobrano 5 próbek typu NW (według PN-EN ISO 22475-1:2006) oraz 4 sondowania lekką sondą dynamiczną (DPL) (ang. *Dynamic Penetration Lightweight*) do maksymalnej głębokości 6 m (według wytycznych PN-EN ISO 22476-2:2005). Stopień zagęszczenia gruntów bezkohezyjnych (I_D) wyznaczono za pomocą wzoru (w1):

$$I_D = 0,15 + 0,26 \log N_{10} \quad (w1)$$

gdzie: N_{10} oznacza liczbę uderzeń młota (o masie 10 kg, spadającego grawitacyjnie na kowadło z wysokości 0,5 m), potrzebną do wbicia sondy o każde kolejne 10 cm.

Nawiercane grunty sklasyfikowano według normy PN-EN ISO 14688-1:2006. W toku badań laboratoryjnych określono wilgotność naturalną gruntów (według PN-EN ISO 17892-1) i ich skład granulometryczny (według PN-EN ISO 17892-4 dla gruntów sypkich oraz PN-EN ISO 11277:2005 dla gruntów spoistych).

Na podstawie danych LIDAR (dla nalotów z lat 2011 i 2023) zaimportowanych z Geoportalu (<http://www.geoportal.gov.pl>), wykonano przekroje morfologiczne dla analizowanego fragmentu zbocza (przechodzące przez wyznaczone punkty badawcze: wiercenia i sondowania DPL). Dane pomiarowe dla nalotu z 2011 r. podane są w układzie wysokościowym „NMT-PL-KRON86-NH”, a dla skanowania z 2023 r. w układzie „NMT-PL-EVRF2007-NH”. Chmura punktów została przekonwertowana na plik rastrowy za pomocą pakietu narzędzi LAStools, a przekroje morfologiczne zostały wykonane za pomocą wtyczki Terrain Profile w programie QGIS 3.34.3.

Przy pomocy oprogramowania GEO5 wykonano model geologiczno-inżynierski zbocza. Do tego celu posłużono się Numerycznym Modelem Terenu (NMT) i wynikami badań archiwalnych (Borówka i in. 1982; Winowski 2015) oraz wykonanym samodzielnie kartowaniem geologicznym. W toku badań laboratoryjnych wyznaczono parametry wiodące – uziarnienie, wilgotność i zagęszczenie gruntów, a następnie skorelowano je z wartościami parametrów mechanicznych (według PN-81/B-03020; Wiłun 1970). W GEO5 dla kołowo-cylindrycznej powierzchni poślizgu przeprowadzono analizy stateczności metodami Bishopa i Spencera wykorzystując opcję „szukaj w siatce”, która wskazuje najbardziej niebezpieczne powierzchnie poślizgu. Analogicznie wytyczono powierzchnie w kształcie łamanej i przeprowadzono obliczenia według algorytmu Spencera i Morgenstern-Price’a optymalizując ich kształt. Metody te są zaliczane do tzw. metod pasków i oprócz metody Bishopa są to metody rygorystyczne – równanie stateczności musi bowiem spełniać warunki równowagi zarówno sił, jak i momentów tych sił. Metoda Bishopa jest w takim ujęciu metodą uproszczoną, ponieważ uwzględnia wyłącznie równowagę momentów sił. Obliczenia prowadzone były zgodnie z kryterium wytrzymałościowym Mohra-Coulomba, co oznacza, że wytrzymałość gruntu na ścinanie jest liniową zależnością między działającą w płaszczyźnie zniszczenia składową styczną naprężenia a jego składową normalną. Do obliczeń wykorzystano wartość kąta tarcia wewnętrznego (φ) oraz spójności gruntu (c). Wynik analizy stateczności badanego fragmentu klifu pokazano jako procent wykorzystania stateczności zbocza będący odwrotnością współczynnika stateczności F (w2):

$$F = \frac{\sum M_u}{\sum M_z} \quad (\text{w2})$$

gdzie: M_u oznacza momenty sił utrzymujących, M_z momenty sił zsuwających.

Zbocze spełnia warunek stateczności, gdy $F > 1$ (Madej 1981; Duncan, Wright 2005; Pisarczyk 2005; Konderla 2008). Obliczenia zostały wykonane także dla zmienionej przez abrazję linii brzegowej dla 25-lecia przy założeniu średniego tempa cofania się brzegów morskich według Kostrzewskiego i in. (2013) dla wyspy Wolin wynoszącego 0,24 m/rok.

Wyniki

Analiza warunków geologiczno-inżynierskich

Kartowane osuwisko powstało w 2023 r. i objęło swym zasięgiem grunty piaszczyste (ryc. 2A). Nisza osuwiskowa ma 20 m długości i 60 m szerokości, a osuwisko poskutkowało zniszczeniem zadrzewień na analizowanym fragmencie klifu (ryc. 2B). Osuwisko zakwalifikowano ze względu na kształt niszy osuwiskowej oraz jęzora do osuwisk translacyjnych według klasyfikacji Dikau i in. (1996). Podczas wizji lokalnej zauważono szczeliny o szerokości do 10 cm i długości nawet kilku metrów, zlokalizowane na jęzorze osuwiskowym (ryc. 2C, D).

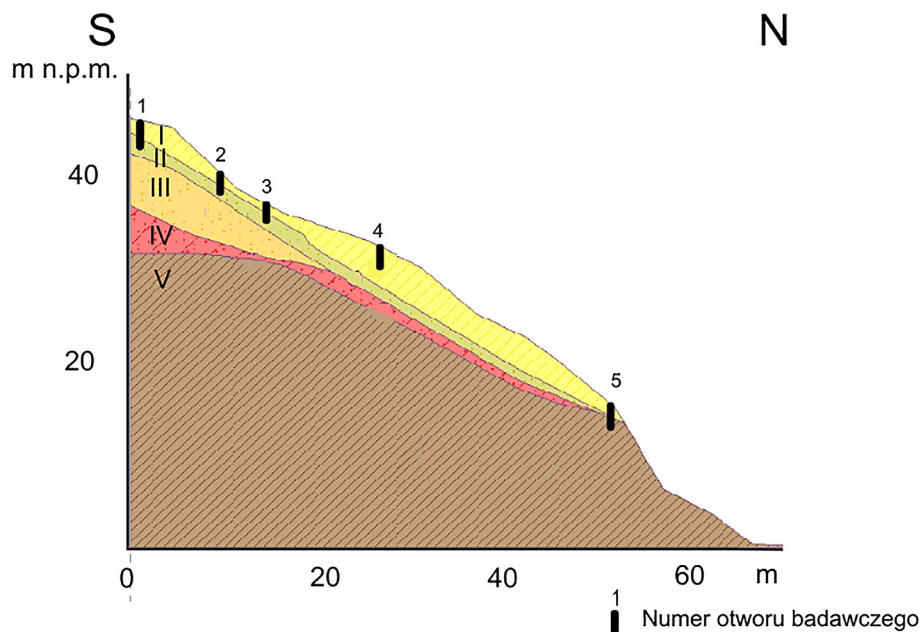


Ryc. 2. A – fragment zerwy gruntowej w obrębie klifu; B – zniszczone zadrzewienie klifu widoczne z plaży; C, D – występowanie równoległych do linii brzegowej szczelin w obrębie jezora osuwiskowego

Zbocze zbudowane jest z osadów czwartorzędowych. Klif zbudowany jest od swojej podstawy z gliny brązowej na pograniczu gliny piaszczystej i zwięzłej charakteryzującej się wysoką wapnistością. Na niej zalegają żółte i brązowe piaski reprezentowane przez charakteryzujące się dobrym zagęszczeniem piaski fluwio-glacialne i eoliczne: średnie, drobne, pylaste oraz osady tworzące koluwium – luźne piaski drobne. Podczas kartowania nie zarejestrowano występowania zwierciadła wód podziemnych.

Zasięg osadów koluwalnych ostatniego osuwiska oszacowany został na podstawie zmienności stopnia zagęszczenia (I_D). Sondowanie DPL wykazało bowiem, że w rejonie stwierdzanego osuwiska, od powierzchni terenu do ok. 2 m

głębokości, występują piaski luźne (por. ryc. 3). Wartość ich stopnia zagęszczenia waha się od 0,15 do 0,3. Pod nimi zalegają piaski średnio zagęszczone (I_D w przedziale 0,4–0,6) oraz dobrze zagęszczone ($I_D > 0,65$). Nie można jednak wykluczyć, iż w szczególności osady średnio zagęszczone, ale także i dobrze zagęszczone, mogą być również osadami koluwalnymi starszych osuwisk w tym rejonie.



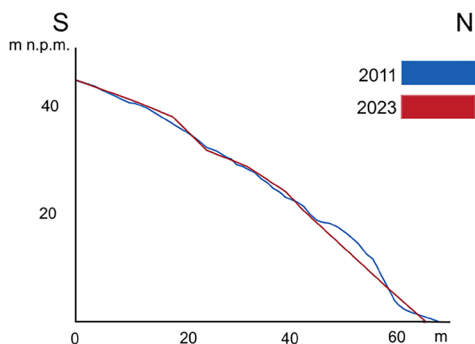
Nr	Nazwa gruntu wg PN-EN ISO 14688-1:2006	Pełna nazwa	Mięższość [m]	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Kąt tarcia wewnętrzznego ϕ [°]	Kohezja c [kPa]	I_D	I_L	Stan
I	FSa	piasek drobny	2-4	15,70	28	-	0,25	-	luźny
II	FSa	piasek drobny	2-4	16,19	30	-	0,45	-	średnio zagęszczony
III	MSa	piasek średni	3-5	16,68	32	-	0,45	-	średnio zagęszczony
IV	siSa	piasek pylasty	1-3	16,67	30	-	0,65	-	dobrze zagęszczony
V	sasiCl	gлина piszczysta/zwiezla	0-30	20,6	24	30	-	0,1	twardoplastyczny

Ryc. 3. Model geologiczno-inżynierski zbocza oraz wartości parametrów fizycznych i mechanicznych gruntów

Analiza LIDAR

Analiza LIDAR wykazała, że obserwowany fragment klifu w rejonie Białej Góry od 2011 r. zmienił swoją morfologię (ryc. 4). Widoczne jest to w rejonie dolnej krawędzi zbocza w zakresie rzędnych od 0 do 20 m n.p.m. Zarysowuje się tam nadbudowa zbocza i utworzenie przy podstawie formy pozytywnej. Zauważalne jest jednak, że masy osadów ulegające erozji nie bilansują się z masą osadów zakumulowanych przy podnóżu.

Analiza stateczności zbocza



Ryc. 4. Morfologia zbocza w latach 2011 i 2023

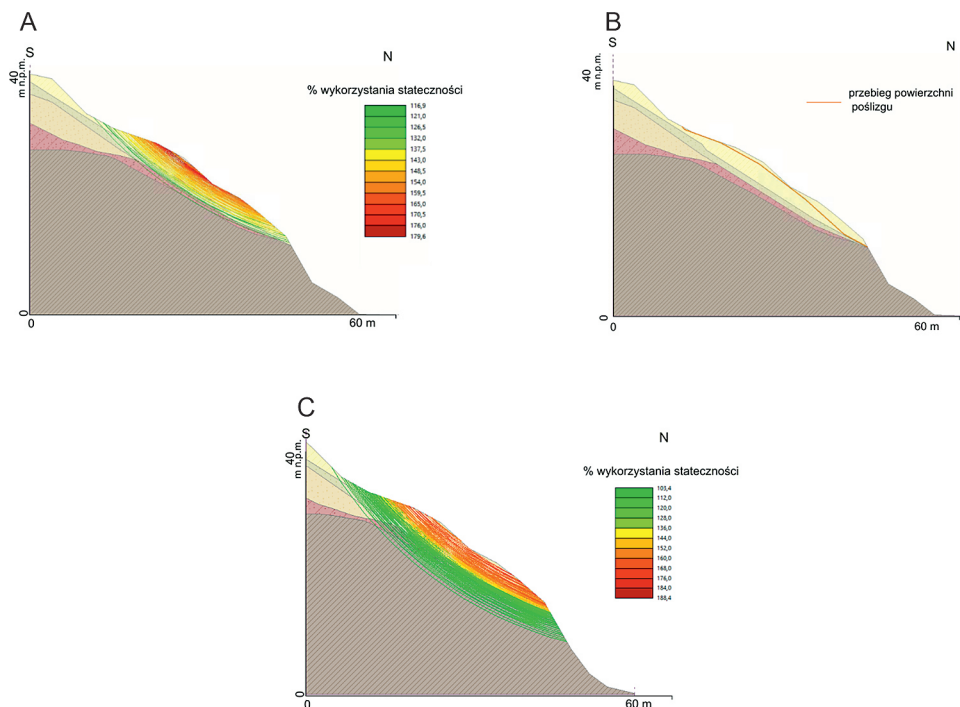
Przeprowadzona analiza wykazała brak stateczności analizowanego zbocza. Wartości współczynników stateczności F , jak i wykorzystania stateczności zbocza dla każdej analizowanej metody przedstawiono w tabeli 1. Dla metod kołowych wyższe wartości uzyskały metody Spencera. Analiza według metod o łamanej w kształcie płaszczyźnie poślizgu dała wyższe niż dla kołowych wartości wskaźnika stateczności.

Rozpatrując zarówno kołową, jak i łamaną powierzchnię poślizgu, najbardziej podatne na osuwanie wydają się być luźne piaski przypowierzchniowe. W obrębie tej warstwy wytyczono najmniej korzystne wartości zachowania stateczności. Zbocze jest stateczne, gdy $F > 1$ (analogicznie wykorzystanie stateczności $< 100\%$). Każda wartość współczynnika stateczności mniejsza od 1 informuje o możliwości wystąpienia ruchów masowych. Wyniki analiz wybranych metod (według tabeli 1 – lp. 1, 4, 5) przedstawia rycina 5.

Tabela 1. Wyniki analizy stateczności zbocza według zastosowanej metody

Lp.	Nazwa algorytmu	Geometria płaszczyzny poślizgu	Wykorzystanie stateczności zbocza [%]	Współczynnik stateczności F
1	Bishop	kołowa	179,6	0,56
2	Spencer	kołowa	188,4	0,53
3	Spencer	łamana	168,9	0,59
4	Morgenstern-Price	łamana	169,8	0,58
5*	Bishop	kołowa	188,4	0,53
6*	Spencer	kołowa	198,3	0,50
7*	Spencer	łamana	182,7	0,55

* dla prognozowanej zmiany linii brzegowej.



Ryc. 5. Wyniki analizy stateczności. A – Przebieg najbardziej prawdopodobnych powierzchni poślizgu wg metody Bishopa; B – Przebieg najbardziej prawdopodobnej łamanej powierzchni poślizgu dla metody Morgensterna-Price’a; C – Analiza stateczności zbocza wg Bishopa dla zmienionego rozkładu naprężeń wywołanego abrazją

Dyskusja

Kompleksowa analiza zmian środowiskowych na obszarach narażonych na ruchy masowe wymaga wielowątkowego podejścia i skorzystania z szeregu specjalistycznych metod badawczych (Bednarczyk 2007; Kolander i in. 2013; Lidzbarski, Tarnawska 2015; Winowski i in. 2022). Jedną z nich jest wykorzystanie NMT do poszukiwania obszarów osuwisk (Małka 2018; Winowski 2020). Niezbędne jest jednak uzupełnienie tych obserwacji o geologiczno-inżynierskie badania *in situ* (kartowanie geologiczno-inżynierskie), pogłębione rezultatami badań laboratoryjnych w zakresie fizycznych i mechanicznych parametrów gruntów. To one warunkują bezpośrednio zachowanie się skarp i zboczy w czasie. Tylko znając geometrię zbocza oraz rozpoznając warunki gruntowo-wodne można z dużym prawdopodobieństwem prognozować stateczność zbocza (Bednarczyk 2007; Lidzbarski, Tarnawska 2015).

Zaobserwowane w obszarze jezora osuwiskowego liczne szczeliny zorientowane równolegle do linii brzegu mogą być dowodem na ciągłą destabilizację gruntu. Ich obecność może świadczyć o kolejnej reaktywacji osuwiska w najbliższym

czasie. Analiza stateczności pokazała, że reaktywacja osuwiska prawdopodobnie zajdzie w strefie przykrawędziowej i obejmie grunty koluwalne.

Porównanie przekrojów morfologicznych z lat 2011 i 2023 wskazuje ponadto na pojawienie się stożka usypiskowego u podnóża zbocza, co należy uznać za kolejną przesłankę dokumentującą aktywność geodynamiczną badanego fragmentu klifu w minionej dekadzie. Brak bilansu osadów podlegających erozji stokowej oraz zakumulowanych u podnóża zbocza należy łączyć z abrazyjnym charakterem erozji, a co za tym idzie wymywaniem zakumulowanego osadu (Tylkowski 2014). Dodatkowo osady mogą również ulegać redepozycji na skutek działalności transportu eolicznego (Hojan 2009, 2012).

Wyniki przeprowadzonych badań i wnioski na nich oparte są zasadniczo zbieżne z wnioskami wyciągniętymi przez innych autorów (Horska-Schwarz 2005; Kostrzewski i in. 2015, 2017, 2021; Winowski 2015; Tylkowski 2018; Winowski i in. 2018). Głównym czynnikiem wpływającym na zmianę rozkładu naprężeń, skutkującym pojawieniem się ruchów masowych dążących do uzyskania stanu równowagi w środowisku gruntowo-wodnym, są prawdopodobnie sztormy. Skutkują one incydentalnym podniesieniem poziomu morza oraz wzrostem prędkości napływu i wysokości fal przybijających do brzegu morskiego, co prowadzi do zintensyfikowanej abrazji podnóża klifu (Tylkowski, Kolander 2014; Winowski i in. 2018). Winowski i in. (2022) wskazują, iż istotne w kontekście erozji klifów są fale sztormowe o wysokości powyżej 90 cm. W wieloleciu 2012–2020 stwierdzono wystąpienie 9 epizodów sztormowych o takiej sile. Należy jednak pamiętać, iż relacja pomiędzy erozją klifu a silnymi wydarzeniami hydrometeorologicznymi nie jest liniowa i zależy od wielu czynników (Tylkowski 2014, 2018), takich jak np. warunki morfolitologiczne czy ekspozycja stoku w kierunku podejścia fali morskiej (Tylkowski 2018). Biorąc pod uwagę uziarnienie gruntów koluwium (piaski średnie i drobne) charakteryzujących się wysokim współczynnikiem filtracji, można wywnioskować, że nawalne deszcze, które nawadniając grunt zwiększają jego ciężar oraz obniżają wytrzymałość na ścinanie (Santos i in. 2011) mają prawdopodobnie marginalne znaczenie w inicjacji ruchów masowych w obrębie badanego zbocza.

Klify obserwowane w rejonie Wolina są najwyższymi w Polsce, stanowiąc jeden z najcenniejszych przyrodniczo, a także turystycznie obszarów polskiego wybrzeża (Żyto 2019, Zwoliński i in. 2024). W związku z tym podlegają one stałej ochronie, która zdefiniowana jest w Zarządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska (2024) w sprawie zadań ochronnych dla Wolińskiego Parku Narodowego na lata 2024–2028. Niemożliwa jest zatem ingerencja człowieka mająca na celu zapobieganie osuwiskom poprzez m.in. wzmacnianie skarp. Ważnym aspektem jest więc stały monitoring wybrzeża klifowego, a także już istniejących osuwisk, pozwalający na dokładne poznanie przyczyn i przebiegu dalszego niszczenia klifu, a także zapobieganie zagrożeniu dla turystów (Dobrcki, Uścińowicz 2007; Wójcik, Wojciechowski 2016; Kostrzewski i in. 2021).

Wnioski

Przeprowadzone badania klifu w rejonie Białej Góry koło Międzyzdrojów (Woliński Park Narodowy), ściślej powstałego tam w 2023 r. osuwiska o długości 20 m i szerokości 60 m, pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków, które autorzy artykułu planują weryfikować w dalszych etapach swoich prac:

- w minionej dekadzie doszło do zmiany morfologii zbocza klifowego w rejonie Białej Góry, co zaznacza się w obrazie NMT z lat 2011 i 2023,
- analiza stateczności według metod Bishopa, Morgensterna-Price’a i Spencera wykazała brak stateczności w obrębie zbocza,
- jako główną przyczynę powstawania osuwiska w rejonie Białej Góry wskazuje się przede wszystkim okresowo występujące sztormy intensyfikujące proces abrazji brzegu,
- mniejsze znaczenie w kontekście inicjacji ruchów masowych przypisuje się nawalnym deszczom zwiększającym potencjalnie ciężar objętościowy gruntów i tym samym zmieniającym rozkład naprężeń w podłożu, co wynika z dobrej wodoprzepuszczalności osadów budujących koluwium,
- w obrębie wybrzeża w rejonie Białej Góry niemal pewna jest reaktywacja osuwisk prowadząca stopniowo do dalszego cofania się wybrzeża w głąb lądu i bezpowrotnej utraty unikatowych w skali Polski klifów.

Literatura

- Bednarczyk Z., 2007. Ocena przydatności wybranych testów *in situ* i badań laboratoryjnych dla identyfikacji i przeciwdziałania procesom geodynamicznym. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 31(3/1): 65–79.
- Borówka R., Gonera P., Kostrzewski A., Zwoliński Z., 1982. Origin age and paleogeographic significance of cover sands in the Wolin end marine area, North-West Poland. *Quaestiones Geographicae*, 8: 19–36.
- Cała M., 2009. Osuwiska w Polsce i na świecie. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 3: 68–74.
- Dikau R., Brunsden D., Schrott L., Insden M.L., 1996. *Landslide recognition. Identification, Movement and Causes*. J. Willey & Sons, s. 1–251.
- Dobracki R., Uścińowicz S., 2007. Geozagrożenia polskiego brzegu Bałtyku. *Przegląd Geologiczny*, 55(8): 639–640.
- Duncan J.M., Wright S.G., 2005. *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Hojan M., 2009. Aeolian processes on the cliffs of Wolin Island. *Quaestiones Geographicae*, 28A(2): 39–46.
- Hojan M., 2012. Charakterystyka procesów eolicznych na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin. W: Z.B. Babiński (red.), *Promotio Geographica Bydgosiensia – Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*, s. 141–151.
- Horska-Schwarz S., 2005. Modele struktury przestrzenno-funkcjonalnej wybrzeża klifowego Wolińskiego Parku Narodowego. *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 17: 111–120.
- Kolander R., Morche D., Bimböse M., 2013. Quantification of moraine cliff coast erosion on Wolin Island (Baltic Sea, northwest Poland). *Baltica*, 26(1): 37–44.

- Konderla H., 2008. Stateczność skarp i zboczy w ujęciu Eurokodu 7. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 32(2): 197–204.
- Kostrzewski A., Musielak S., Furmańczyk K., Dudzińska-Nowak J., Osadczuk K., Winowski M., Wolski T., Zwoliński Z., 2021. Współczesna ewolucja rzeźby wybrzeża Bałtyku Południowego. W: A. Kostrzewski, K. Krzemień, P. Migoń, L. Starkel, M. Winowski, Z. Zwoliński (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 575–619.
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., Samołyk M., Tylkowski J., Winowski M., 2013. Morfosystem wybrzeży klifowych wyspy Wolin – monitoring ostrzegawczy, program ochrony. W: A. Kostrzewski, Z. Zwoliński, M. Winowski (red.), *Geoelementy wybrzeży morskich 2. Uwarunkowania i funkcjonowanie geoelementów wybrzeży morskich*. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Stacja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Poznań-Biała Góra, s. 59–62.
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., Winowski M., Tylkowski J., 2017. Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność czasowa morfodynamiki wybrzeża klifowego wyspy Wolin w latach 1984–2016. W: A. Kostrzewski, M. Winowski (red.), *Geoelementy Wybrzeży Morskich 3. Monitoring funkcjonowania i przemian wybrzeży morskich w warunkach zmian klimatu i narastającej antropopresji*. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Stacja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Poznań-Biała Góra, s. 133–142.
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., Winowski M., Tylkowski J., Samołyk M., 2015. Cliff top recession rate and cliff hazards for the sea coast of Wolin Island (Southern Baltic). *Baltica*, 28(2): 109–120.
- Kowalski W.C., 1988. *Geologia inżynierska*. Wydawnictwa geologiczne, Warszawa.
- Krygowski B., 1959. O związkach rzeźby dzisiejszej powierzchni ze strukturą podłoża na Pomorzu Szczecińskim. *Zeszyty Naukowe UAM, Geografia*, 2: 69–86.
- Lidzbarski M., Tarnawska E., 2015. Badania hydrogeologiczne na wybrzeżu klifowym w diagnozowaniu i prognozowaniu geozagrożeń. *Przegląd Geologiczny*, 63(10): 901–907.
- Madej J., 1981. *Metody sprawdzania stateczności zboczy*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Małka A., 2018. Zmiany odcinków klifowych linii brzegowej w Gdyni w ciągu ostatnich dwustu lat i związane z nimi geozagrożenia. *Z Dziejów Kartografii*, 22: 111–129.
- Mizerski W., Graniczny M., 2022. *Geozagrożenia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 145–195.
- Pisarczyk S., 2005. *Mechanika Gruntów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 315–329.
- Santos O., Scudeleri A.C., Costa Y.C., 2011. Sea Cliff Retreat Mechanisms in Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research* SI, 64: 820–824.
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J.R., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W., 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica*, 91(2): 143–170.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2022. *Atlas klimatu Polski (1991–2020)*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Tylkowski J., 2014. Conditions and rate of extreme dunes abrasion at the Pomeranian Bay. *Landform Analysis*, 27: 45–54.
- Tylkowski J., 2018. Hydrometeorologiczne uwarunkowania erozji wybrzeża klifowego wyspy Wolin. *Przegląd Geograficzny*, 90(1): 111–135.

- Tylkowski J., Kolander R., 2014. Potential Hydrometeorological Threshold Values of the Coastal Hazard – an Example from the Polish Southern Baltic Coast. *Russian Meteorology and Hydrology*, 39(9): 614–619.
- Wiłun Z., 1970. *Zarys geotechniki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, s. 290–335.
- Winowski M., 2008. Geomorfologiczne skutki tajania pokrywy śniegu na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin. *Landform Analysis*, 9: 222–225.
- Winowski M., 2015. Aktywność procesów osuwiskowych na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin w warunkach oddziaływania zdarzeń hydrometeorologicznych o wysokim potencjale morfogenetycznym (Zatoka Pomorska – Bałtyk Południowy). *Landform Analysis*, 28: 87–102.
- Winowski M., 2020. Monitoring przekształceń rzeźby klifu piaszczystego w rocznym cyklu pogodowym (studium przypadku z 2019 r. – wyspa Wolin). W: A. Olszewski, A. Andrzejewska (red.), *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego: aktualny stan i przemiany środowiska przyrodniczego geosystemów jako cecha wskaźnikowa zmian klimatu*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 79–92.
- Winowski M., Kostrzewski A., Zwoliński Z., 2018. Podstawy morfologiczne typologii morfodynamicznej wybrzeża klifowego wyspy Wolin. *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych VII*. IGIG UAM, Poznań: 205–212.
- Winowski M., Tylkowski J., Hojan M., 2022. Assessment of Moraine Cliff Spatio-Temporal Erosion on Wolin Island Using ALS Data Analysis. *Remote Sensing*, 14(13): 3115.
- Wójcik A., Wojciechowski T., 2016. Osuwiska jako jeden z ważniejszych elementów zagrożeń geologicznych w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 64(9): 701–709.
- Zwoliński Z., Kostrzewski A., Winowski M., Mazurek M., 2024. Wolin Island–Outstanding Geodiversity on the Polish Coast. W: P. Migoń, K. Jancewicz (red.), *Landscapes and Landforms of Poland*. Springer, s. 687–708.
- Żynda S., 1962. Wyniki wstępnych badań nad moreną czołową wyspy Wolin. *Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, 9: 159–166.
- Żyto A., 2019. Wybrane czynniki warunkujące rozwój turystyki na wyspie Wolin. W: A. Kostrzewski, D. Abramowicz. (red.), *Geoprzestrzeń 2. Miasto i gmina Międzyzdroje – wybrane problemy*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 47–64.

Źródła internetowe

<https://www.geoportal.gov.pl> [dostęp 30.03.2024].

Normy i akty prawne:

- PN-86/B-02480 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-81/B-03020 – Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-ISO 11277:2005 – Jakość gleby. Oznaczanie składu granulometrycznego w mineralnym materiale glebowym. Metoda sitowa i sedymentacyjna.
- PN-EN ISO 17892-1 – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów – Część 1: Oznaczanie wilgotności naturalnej.
- PN-EN ISO 17892-4 – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów – Część 4: Badanie uziarnienia gruntów.
- PN-EN ISO 22475-1:2006 – Rozpoznanie i badania geotechniczne – pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych – Część 1: Techniczne zasady wykonania.
- PN-EN ISO 22476-2:2005 – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe – Część 2: Sondowanie dynamiczne.

Zarządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 18 kwietnia 2024 r. w sprawie zadań ochronnych dla Wolińskiego Parku Narodowego na lata 2024–2028 (Dz.Urz. MKiŚ.2024.32).