

ROZPOZNANIE BUDOWY GEOLOGICZNEJ KLIFU W JASTRZĘBIEJ GÓRZE METODĄ TOMOGRAFII ELEKTROOPOROWEJ POD KĄTEM ZAGROŻENIA OSUWISKOWEGO

RECOGNITION OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE JASTRZĘBIA GÓRA CLIFF USING RESISTIVITY TOMOGRAPHY METHODS FOR LANDSLIDE HAZARD

MIROSLAW KAMIŃSKI¹, MIROSLAW KRAWCZYK¹, PIOTR ZIENTARA¹

Abstrakt. Przedstawiono zastosowanie metody tomografii elektrooporowej do rozpoznania budowy geologicznej fragmentu klifu pod kątem zagrożenia osuwiskowego. Klif w Jastrzębiej Górze jest zachodnim przedłużeniem klifu przylądka Rozewie. Rejon badań jest położony w miejscowości Jastrzębia Góra, w okolicy ośrodka szkolno-wypoczynkowego „Bałtyk” przy ulicy Bałtyckiej. Klif w tym rejonie prawie w całości jest zabudowany gabionami. Stwierdzono dużą zmienność litologiczną w rejonie opaski gabionowej (piaski, gliny, ropy). Budowa taka przy odpowiednich nachyleniach terenu i zaburzeniach glacictonicznych sprzyja tworzeniu się osuwisk, zwłaszcza ze względu na obecność zdeformowanych glacictonicznie utworów jeziornych.

Słowa kluczowe: tomografia elektrooporowa, osuwiska, geologia, geofizyka, klif w Jastrzębiej Górze.

Abstract. The paper describes the use of electric al resistivity tomography in order to recognize the geological structure of the cliff from the point of view of landslide hazard. The Jastrzębia Góra cliff is the western extension of Rozewie Cape cliff. The study area is located in the Jastrzębia Góra town near a school and recreation center “Bałtyk”. The cliff in the study area is almost entirely built over with gabions. The large variation in lithology in the gabion band vicinity (sand, clay, silt) was stated. This structure with suitable layer slants and glacictonic deformations is conducive to landslide formation.

Key words: resistivity tomography, landslides, geology, geophysics, cliff in Jastrzębia Góra.

WSTĘP

Celem badań było rozpoznanie budowy geologicznej i hydrogeologicznej klifu w Jastrzębiej Górze w rejonie ulicy Bałtyckiej metodą tomografii elektrooporowej. Klif w tym rejonie został zabezpieczony opaskami gabionowymi (metalowe siatki wypełnione żwirami) oraz dodatkowo wysoką masywną konstrukcją. Budowla ta składa się z czterech stopni, od strony zewnętrznej zabezpieczonych blokami gruntu zbrojonego geosiatkami (Werno, 2002). Zabezpieczenie brzegu morskiego opaską gabionową w tym rejonie klifu

w Jastrzębiej Górze miało wyeliminować rozwój ruchów masowych, zwłaszcza powstawanie nowych osuwisk. Jednakże nasilenie erozyjnej działalności morza oraz silne opady deszczu w 2010 r., a także znaczne podniesienie się poziomu wód gruntowych spowodowało, że w obrębie opaski gabionowej utworzyło się osuwisko. W rezultacie w strefie zagrożenia znalazły się okoliczne budynki wypoczynkowe.

Nowatorskie badania metodą tomografii elektrooporowej pod kątem rozpoznawania i uszczegółowienia budowy geo-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: mirosław.kaminski@pgi.gov.pl, mirosław.krawczyk@pgi.gov.pl, piotr.zientara@pgi.gov.pl

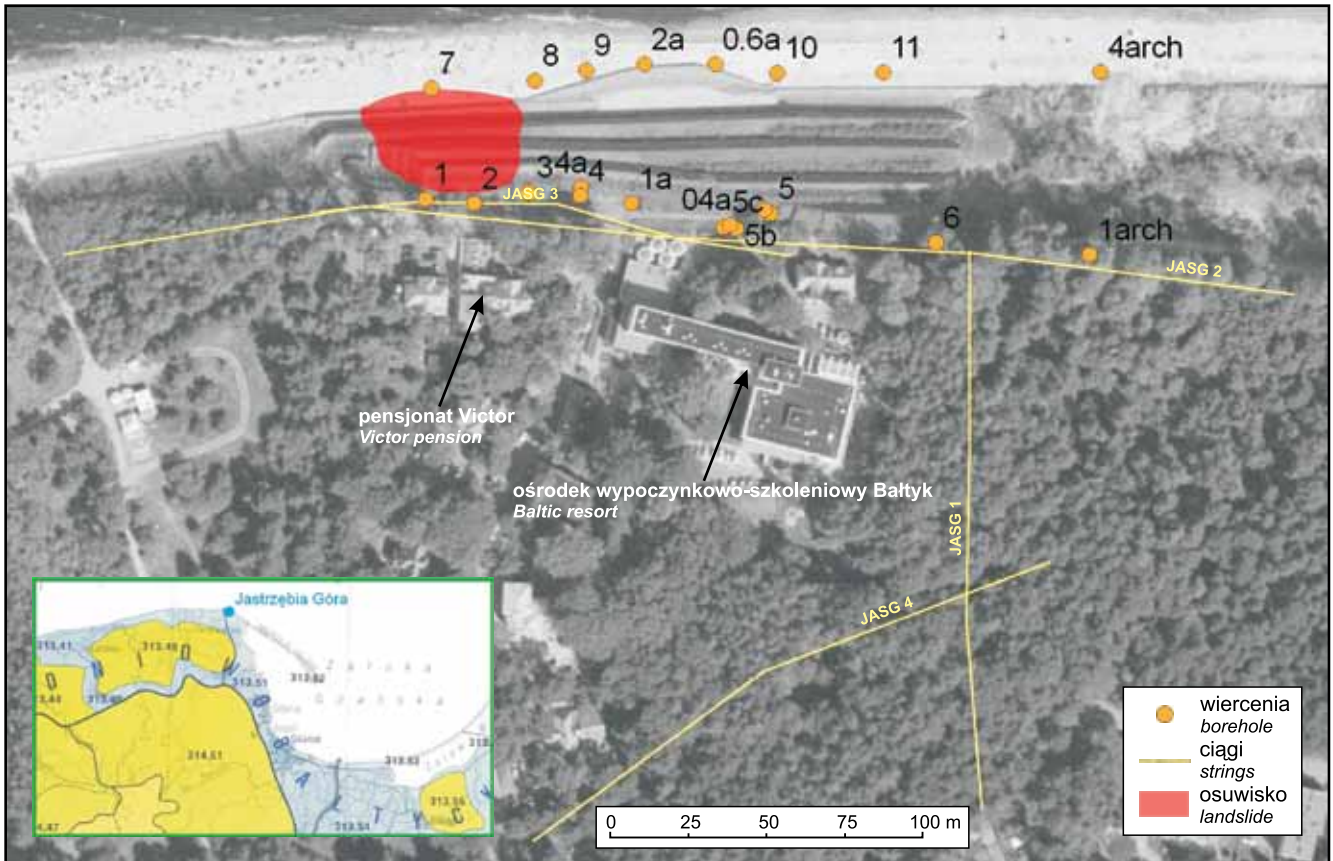


Fig. 1. Położenie obszaru badań na tle mapy regionów fizjograficznych i ortofotomapy

Location of study area on the background physiographic regions and orthophotos maps

logicznej klifu w Jastrzębiej Górze mogą pomóc w stabilizacji brzegu morskiego, a także w ograniczeniu i spowolnieniu procesów geodynamicznych.

Badaniem ruchów masowych, budowy geologicznej oraz dynamiki klifu w Jastrzębiej Górze zajmowało się wielu badaczy, m.in. Subotowicz (1982, 1991, 2000), Werno (2002), Zaleszkiewicz i in. (2000), Kramarska i in. (2011).

Obszar badań położony jest w miejscowości Jastrzębia Góra, powiat Puck, w okolicy ośrodka szkolno-wypoczynkowego „Bałtyk” przy ulicy Bałtyckiej.

W czasie prac polowych wykonano cztery przekroje geofizyczne o łącznej długości 940 m (fig. 1):

JASG 1 – długość 180 m, rozstaw elektrod co 3 m, pomiar metodą dipol-dipol;

JASG 2 – długość 400 m, rozstaw elektrod co 5 m, pomiar metodą Wennera;

JASG 3 – uszczegóławiający JASG 2, długość 160 m, rozstaw elektrod co 2 m, pomiar metodą Wennera;

JASG 4 – długość 200 m, rozstaw elektrod co 5 m, pomiar metodą Wennera.

UKSZTAŁTOWANIE POWIERZCHNI

Obszar Jastrzębiej Góry położony jest w obrębie Pobrzeża Gdańskiego, w mezoregionie Pobrzeże Kaszubskie, w bezpośrednim sąsiedztwie mezoregionu Wybrzeże Słowińskie należącego do Pobrzeża Koszalińskiego (Kondraci, 1998). Region ten charakteryzuje się występowaniem wyodrębnionych płatów wysoczyzn lodowcowych zwanych kępami, porozcinanych szeregiem form dolinnych, będących pozostałością dawnych pradolin z okresu fazy pomorskiej zlodowacenia wisły. Obszar objęty badaniami położony jest na tzw. Kępie Swarzewskiej.

Wysokość powierzchni wysoczyzny dochodzi tu do ponad 30 m n.p.m. Klif, ponad 20-metrowej wysokości, prawie w całości jest zabudowany gabionami. Stok opada w kierunku W i SW do poziomu 10 m n.p.m. Jego oś przebiega w okolicach ulicy Bałtyckiej. U podnóża stoku rozciąga się rozległa, płaska równina Bielawskie Błota, pierwotnie będąca zatoką morską. Powierzchnia stoku była poddawana procesom denudacyjnym, stąd występujące tu pokrywy deluwalne. W bezpośrednim sąsiedztwie z morzem stok na skutek tworzenia się mierzei odcinającej pierwotną zatokę morską

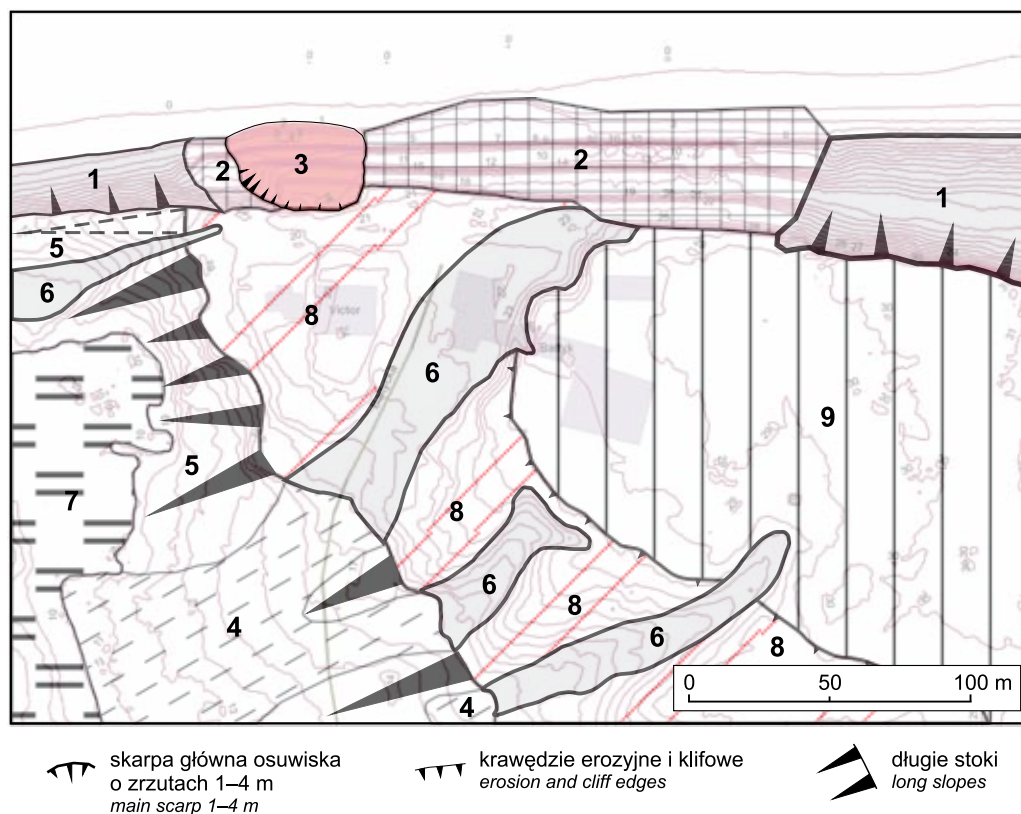


Fig. 2. Szkic geomorfologiczny obszaru badań

1 – klif, 2 – opaska gabionowa, 3 – osuwisko, 4 – stożki napływowe, 5 – pokrywy eoliczne, 6 – suche dolinki, 7 – równina torfowa, 8 – wysoczyzna morenowa zdenudowana, 9 – wysoczyzna morenowa

Geomorphological sketch of study area

1 – cliff, 2 – gabion band, 3 – landslide, 4 – alluvial fans, 5 – aeolian cover, 6 – dry valleys, 7 – plain peat, 8 – eroded morainic plateau, 9 – morainic plateau

Bielawskie Błota został nadbudowany piaskami eolicznymi. Powierzchnia wysoczyzny, jak i jej stok są w znacznym stopniu przekształcone antropogenicznie (fig. 2).

Wysoczyzna i stok w rejonie pomiarów rozcięte są czterema suchymi dolinkami, głębokości 3–7 m, o przebiegu z NE na SW, nachyleniu w kierunku SW, u wylotu których tworzą się stożki napływowe. Są to prawdopodobnie pozostałości po dawnych spływach wód w kierunku obniżenia (Bielawskie Błota) obecnie wypełnionego osadami jeziornymi i torfami (Skompski, 1997). Najlepiej wykształcona dolinka znajduje się w lesie na SE od ośrodka wypoczynkowego „Bałtyk”, w środkowej części została przecięta

przekrojem elektrooporowym JASG 1 i u ujścia częściowo JASG 4. Na północ od niej leży krótka dolinka, znajdująca się poza zasięgiem pomiarów. Kolejna dolinka, praktycznie niewidoczna w terenie, przekształcona antropogenicznie, znajduje się w obrębie ośrodka „Bałtyk”. Częściowo została zabudowana budynkiem hotelowym. Pozostała po niej przekształcona skarpa wysokości 7 m. Poprowadzono przez nią dwa przekroje JASG 2 i JASG 3. Czwartą dolinką znajduje się w północno-zachodniej części obszaru badań. W części przylegającej do klifu częściowo jest przykryta piaskami eolicznymi. Ona również została przekształcona antropogenicznie, m.in. została zabudowana schodami deptaka.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Najstarszymi osadami na badanym terenie są ropy, mulki i piaski zastoiskowe stadiału środkowego zlodowacenia wistły (fig. 3); osiągają maksymalną miąższość 23 m, są zaburzone gładitektonicznie (Skompski, 1997). W części zachodniej ciągu geofizycznego JASG 2 utwory te są wykształcone w postaci piaszczysto-mułkowej, natomiast w części środ-

kowej jako ropy. Stanowią główną warstwę nieprzepuszczalną. Obecnie ich wychodnie są zabudowane opaską gabionową.

Osady limnoglacialne przykrywają dwa poziomy glin lodowcowych stadiału górnego zlodowacenia wistły (fig. 3, wydzielania nr 33 i 29), rozdzielone osadami fluwio-glacialnymi (nr 31). Według Skompskiego (2001), osady

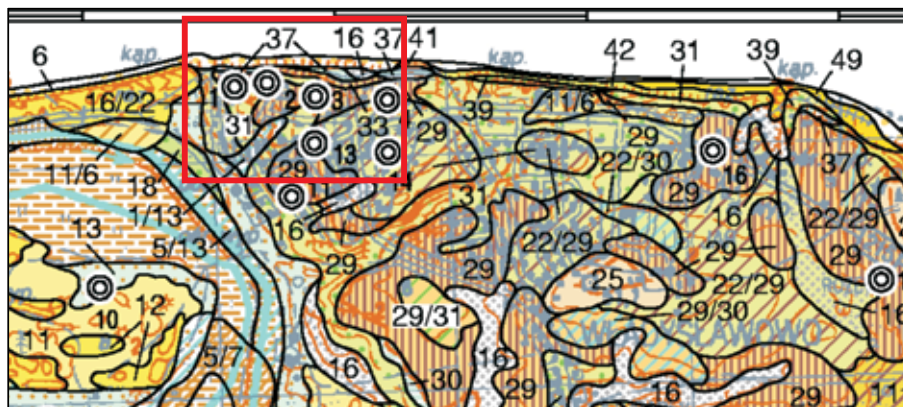


Fig. 3. Fragment Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Puck (Skompski, 1997) z zaznaczonym obszarem badań

1 – piaski humusowe, 11 – piaski eoliczne, 12 – piaski eoliczne w wydmach, 16 – piaski i gliny deluwialne, 22 – piaski wodnolodowcowe, 29 – glina lodowcowa, 31 – piaski, piaski ze żwirami, 33 – glina lodowcowa, 37 – ily

Part of the Detailed Geological Map of Poland 1:50 000,
Puck sheet (Skompski, 1997) with the study area

1 – humic sands, 11 – aeolian sands, 12 – aeolian sands in dunes, 16 – sands and deluvial clays, 22 – fluvioglacial sands, 29 – glacial tills, 31 – sands and sands with gravels, 33 – glacial tills, 37 – clays

fluwioglacjalne w tym rejonie są wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych z wkładkami mułków. Badania geologiczne wykonane w terenie przez autorów wykazały, że osady te są miejscami wykształcone w postaci żwirów z głazami.

Na powierzchni badanego terenu występują osady wodnolodowcowe stadiału górnego zlodowacenia wisły (nr 22), miąższości 1–2 m, leżące na glinie lodowcowej (nr 29). Stok wysoczyzny pokrywają deluwialne osady piaszczysto-żwirowe (Skompski, 1997). Po analizie materiałów kartograficznych, u wylotu dolinek można w obrębie utworów deluwialnych wyróżnić osady stożków napływowych (fig. 2).

W rejonie stoku zaobserwowano występowanie osadów eolicznych (nr 11, 12), których zasięg na ark. Puck kończy się przed Jastrzębią Górą, czyli u podnóża krawędzi wysoczyzny. W czasie prac geofizycznych znaleziono wyraźne poziomy gleby kopalnej (fig. 4), co świadczy o dalszym zasięgu osadów eolicznych w kierunku wschodnim. Miąższość osadów eolicznych wynosi od 1 do 5 m. Najmłodszymi osadami są piaski humusowe (nr 1), występujące w opisanych suchych dolinkach.

Ze względu na małą stabilność klifu wykonano jedynie wstępne badania geologiczne. Opis budowy geologicznej klifu jest wynikiem obserwacji dobrze odsłoniętych osadów. Zasięg prac objął odcinek klifu pokrywający się z ostatnimi 100 m przekroju JASG 2, od punktu roboczego E do D (fig. 5). Zrezygnowano z opisu stratygraficznego utworów geologicznych. Skoncentrowano się jedynie na ich opisie litologicznym, który jest istotny pod kątem badań geofizycznych.

W związku z tym przyjęto zasadę rozdzielania osadów ze względu na litologię:

- 1 – glina piaszczysta/piaski gliniaste – ilasta, miękkoplastyczna, brunatna. Jest to najmłodszy osad w tym rejonie klifu o miąższości od 1 do ok. 3 m, zachowujący ciągłość na całej długości profilu;
- 2 – żwiry – osad źle wysortowany, ziarna do 10 cm, nieprzemyte. W spągu warstwy 30-cm warstwa gliny ilastej, bardzo wilgotnej. Gлина może być spływowa. Osad o charakterze *ice contact*. Najwyraźniej widoczny w zachodniej części profilu, kilka metrów od masywnej zabudowy;
- 3 – piaski drobnoziarniste – bardzo dobrze przemyte, dobrze wysortowane, jasnożółte. Widoczne warstwowania skośne i równoległe. Warstwy zapadają 15° SW. Osad dalekiego spokojnego transportu;
- 4 – piaski drobnoziarniste – słabo przemyte, ze żwirami, źle wysortowane, oliwkowe;
- 5 – żwiry i głazy – osad bardzo źle wysortowany, głazy do 1 m średnicy;
- 6 – piaski różnoziarniste i żwiry z cienkimi przewarstwieniami gliniastymi, piaski i żwiry dobrze przemyte, osad zaburzony, warstwy zapadają 40° W;
- 7 – glina lodowcowa – znajduje się bezpośrednio pod silnie zaburzonymi osadami piaszczysto-żwirowymi (nr 6).

Jak widać z tego krótkiego opisu, w przypowierzchniowej części klifu, do głębokości 5–6 m (tyle było widoczne na odcinku ok. 100 m) utwory są bardzo zróżnicowane litologicznie.

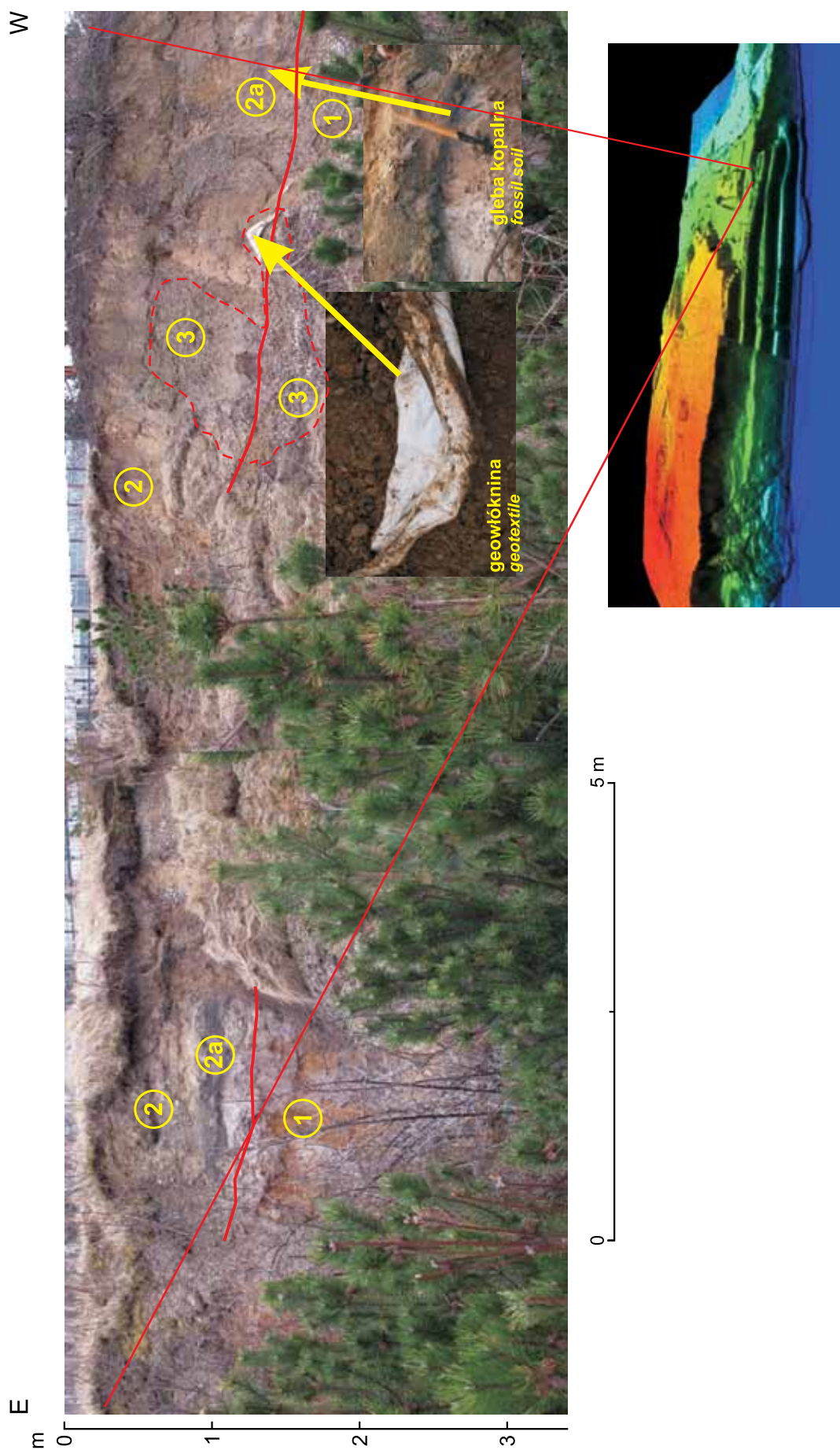


Fig. 4. Górny profil osadów w zachodniej części ciągu geofizycznego JASG 2

1 – piaski i żwiry, 2 – piaski drobnoziarniste eoliczne, 2a – gleba kopalna, 3 – żwiry z zabudowy opaski gabionowej

The upper profile of sediments in the western part of the geophysical line JASG 2

1 – sands and gravels, 2 – fine-grained aeolian sands, 2a – fossil soil, 3 – gravels from gabion band

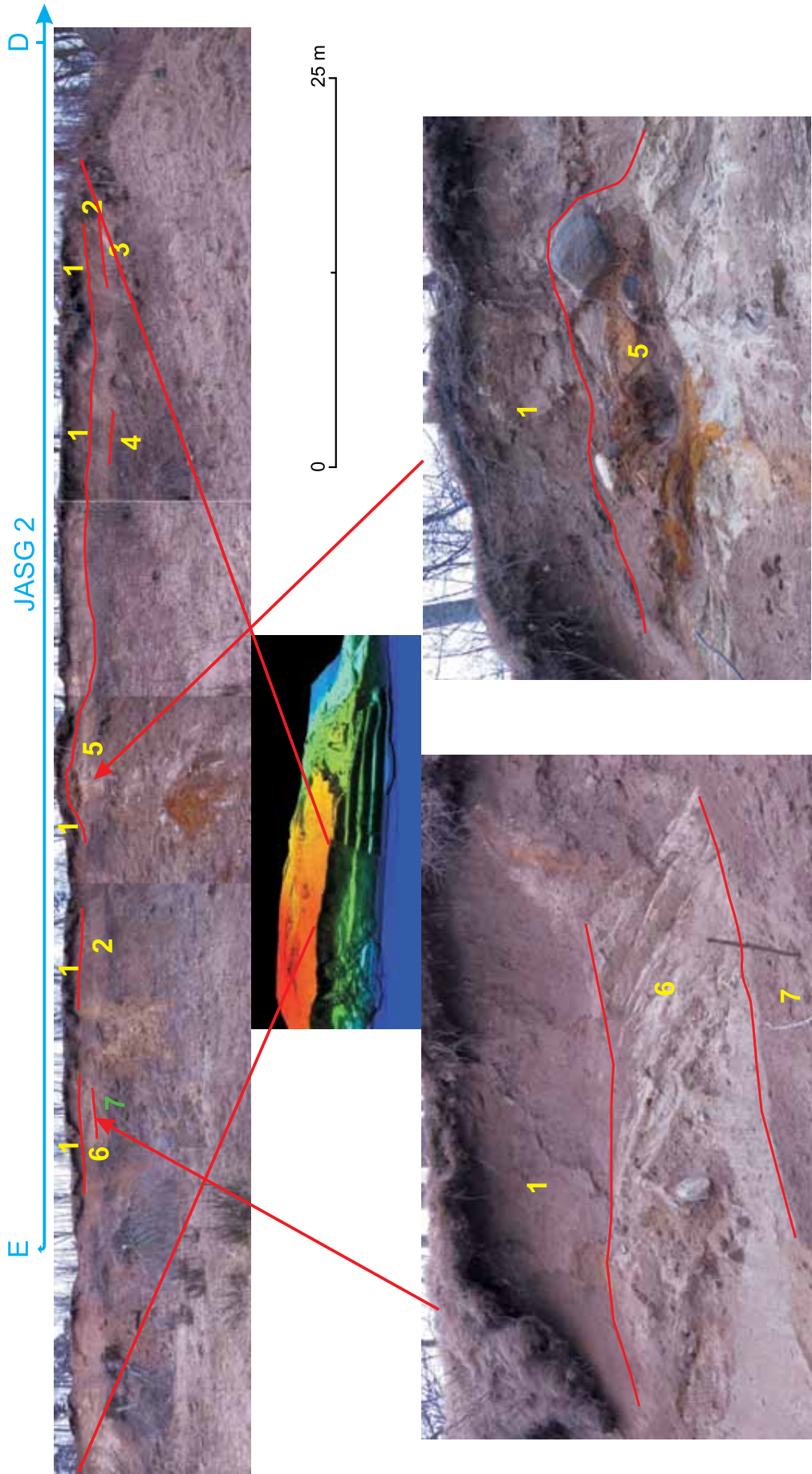


Fig. 5. Osady klifu na wschód od opaski gabionowej; ostatnie 100 m ciągu geofizycznego JASG 2

1 – glina piaszczysta, 2 – żwiry, 3 – piaski drobnoziarniste ze żwirami, 5 – żwiry i glazy, 6 – piaski różnoziarniste i żwiry, 7 – glina lodowcowa

Cliff sediments in the east of gabion line JASG 2

1 – sandy till, 2 – gravels, 3 – fine-grained sands, 4 – fine-grained sands with gravels, 5 – gravels and boulders, 6 – biodiversity grainy sands and gravels, 7 – glacial till

OPIS METODY BADAŃ

Tomografia elektrooporowa (*Electrical Resistance Tomography*, ERT) jest nazywana także obrazowaniem elektrooporowym (*Resistivity Imaging*) lub ciągłym pionowym sondowaniem elektrycznym (*Continuous Vertical Electrical Sounding*, CVES). Do pomiarów jest wykorzystywany stały prąd elektryczny, wpuszczany w ziemię za pomocą pary elektrod, a indukowany potencjał elektryczny jest mierzony za pomocą innej pary elektrod.

W badaniach tomografii elektrooporowej elektrody są rozmieszczone w stałych odległościach wzdłuż linii profilu i połączone kablami wielożyłowymi z aparaturą, która wybiera odpowiednie elektrody do pojedynczego pomiaru. Na-

stępnie, zgodnie z zaprogramowaną procedurą, są wykonywane kolejne pomiary i w rezultacie otrzymujemy przekrój oporności pozornych ośrodka.

Pomiary polowe zostały wykonane za pomocą systemu LUND produkcji szwedzkiej firmy ABEM. W skład zestawu wchodzi: miernik elektrooporowy Terrameter SAS1000, selektor ES 10-64eC, zestaw 4 kabli wielożyłowych z 21 wyprowadzeniami co 10 m na szpulach i komplet stalowych elektrod.

Do opracowania danych i przeprowadzenia inwersji wykorzystano oprogramowanie Res2DINV firmy Geotomo Software.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W nawiązaniu do danych z wierceń przeprowadzono geologiczną identyfikację kompleksów litologicznych poprzez wyznaczenie granic kontrastujących oporowo. Na podstawie wyników modelowania wyznaczono przedziały wartości oporów właściwych utworów geologicznych występujących w badanych rejonach. Uwzględniając wydzielenia litologiczne w odwierconych otworach i znane informacje o geologii, ustalono następującą charakterystykę oporową kompleksów litologicznych (fig. 6):

Przekrój JASG 1

Gliny, ility, mułki, piaski zawodnione, 5–100 Ωm
Glina, glina piaszczysta, piaski gliniaste, 250–500 Ωm
Piaski, 100–1000 Ωm
Żwiry, 1000–3000 Ωm

Przekrój ten został wykonany prostopadle do deformacji struktur glacitektonicznych (kierunku cofania się lądolodu) i ma przebieg N–S. Głębokość penetracji elektrooporowej wyniosła około 30 m. Zobrazowano przede wszystkim silnie zdeformowane osady limnoglacialne (ility, mułki) i lodowcowe (gliny) oraz przykrywające je niezgodnie osady wodnolodowcowe (piaski i żwiry). Osady lodowcowe są dwudzielne. Poziom niższy to glina szara, zaburzona glacitektonicznie. Wyższa glina brązowa nie nosi śladów zaburzeń. Osady jeziorno-lodowcowe są uwiecznione w glinie w formie struktur owalnych, kolistych. Glina niższa jest bardzo zaburzona (formy fałdowe). Taki obraz świadczy o dużych zaburzeniach glacitektonicznych w tym rejonie Kępy Swarzewskiej. Wyżej, niezgodnie na glinie szarej leżą piaski i żwiry oraz płaty gliny brązowej. Znacznie zwiększone opory w południowej części profilu są związane z występowaniem piasków i żwirów, które prawdopodobnie są kontynuacją żwirów i głazów rynny opisanej wyżej.

Przekrój JASG 2

Na przekroju tym oporność kompleksów litologicznych przypisano w nawiązaniu do wykonanych wierceń archiwalnych (Werno, 2010).

Utwory mioceńskie:

Piaski, mułki, ility i węgiel brunatny, 60–70 Ωm

Utwory czwartorzędowe:

ility, mułki, piaski zawodnione, 10–60 Ωm

Piaski gliniaste, 60–70 Ωm

Glina, 100–400 Ωm

Piaski, 400–1000 Ωm

Piaski eoliczne, żwiry, głazy, 1000–3000 Ωm

Na przekroju (część zachodnia) strop utworów mioceńskich występuje już na około 0 m n.p.m., ok. 20 m pod powierzchnią terenu. Rzędna stropu miocenu jest zmienna, w środkowej części obniża się do około –35 m n.p.m. Świadczy to o dużych zaburzeniach glacitektonicznych. Litologicznie osady te są wykształcone w postaci piasków, mułków, iłów i węgla brunatnego.

Najwyższe oporności zostały przypisane czwartorzędom piaskom, żwirom i głazom. Leżą one niezgodnie na glinie szarej (wschodnia część przekroju). Mogą to być osady rynny inglacialnej (fig. 5, wydzielenie nr 5).

Odmienny charakter mają utwory o bardzo wysokich wartościach oporu w zachodniej części przekroju. Przykryte zostały osadami eolicznymi powstałymi w czasie tworzenia się mierzei odcinającej zatokę od otwartego morza. Nagromadzenie osadów o bardzo dużej oporności na początku przekroju i między 55 a 70 m przekroju pokazuje etapowe cofanie się klifu. Osady powstałe w wyniku abrazji brzegu były przykrywane przez wody morskie, a następnie zostały pokryte piaskami eolicznymi. Na 90 m przekroju zaznacza się wyraźny, prawie pionowy obecny zasięg osadów wysoczyzny (mający charakter klifu) oraz młodszych osadów deluwialnych i eolicznych. W środkowej części przekroju występuje glina zaburzona glacitektonicznie o maksymalnej miąższości ponad 10 m. Glina leży na iłach, mułkach i piaskach zastoiskowych. Są to osady jeziorne, określane w literaturze geologicznej jako ility warwowe. Na powierzchni stropu tych osadów jak również w ich obrębie (warstwy piaszczyste zawodnione i ilaste rozdzielające) inicjują się strefy ślizgu osuwisk. Na przekroju strefy bardzo zawod-

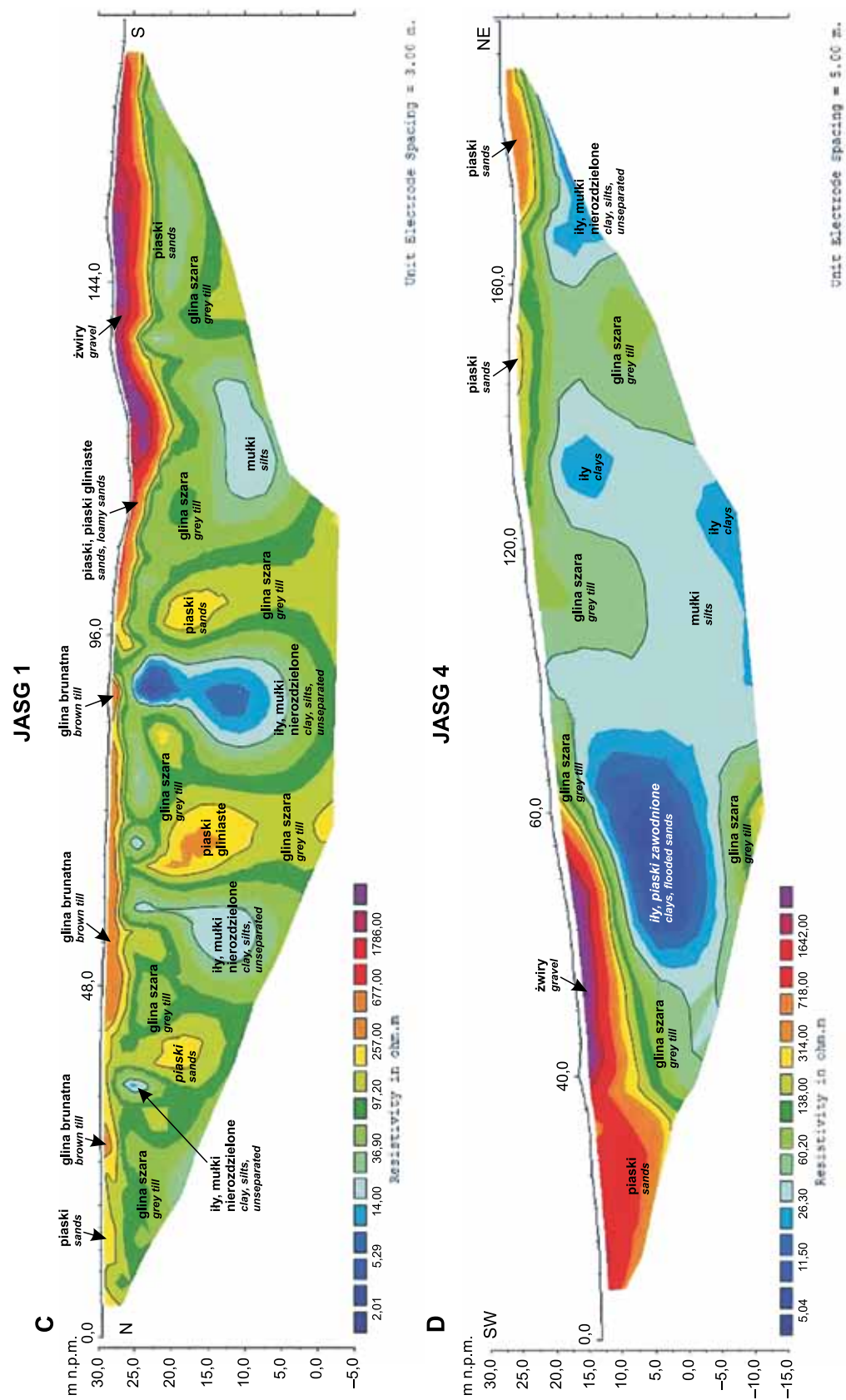


Fig. 6. Przekroje geofizyczne JASG 1–JASG 4 wraz z interpretacją geologiczną

Geophysical sections JASG 1–JASG 4 with geological interpretation

nione mają najniższe wartości oporności. Są one zaburzone glacictektonicznie. Ich przebieg ma kluczowe znaczenie w prognozowaniu dalszych osunięć klifu.

Przekrój JASG 3

Iły, mułki, piaski zawodnione, 10–40 Ω m

Piaski gliniaste, 40–90 Ω m

Glina, 90–400 Ω m

Piaski, 400–1000 Ω m

Piaski eoliczne, żwiry, głązy, 1000–3000 Ω m

Przekrój ten jest uszczegółowieniem odcinka przekroju geofizycznego JASG 2 w rejonie położenia opaski gabionowej. Jego obraz z większą dokładnością potwierdził rozmieszczenie czwartorzędowych kompleksów litologicznych. Doprecyzowano na nim położenie obszarów niskooporowych, wskazujących na obecność stref zawodnionych i mocno zailonych. Wśród utworów limnoglacialnych potwierdzono występowanie struktur glacictektonicznych.

Przekrój JASG 4

Iły, mułki, piaski zawodnione, 5–40 Ω m

Glina, piaski gliniaste, 40–400 Ω m

Piaski, 400–1000 Ω m

Żwiry, 1000–3000 Ω m

Pomierzona na przekroju wartość oporu elektrycznego poszczególnych kompleksów litologicznych zobrazowała silne zaburzenia glacictektoniczne. Szczególnie są one widoczne w obrębie osadów limnoglacialnych (iły, mułki, piaski). Również glina lodowcowa, która kontaktuje ze stropem łąów, wykazuje duże deformacje. W południowo-zachodniej części profilu wysokie wartości oporu są związane z występowaniem żwirów.

Strop utworów limnoglacialnych

Rozpoznanie zasięgu utworów limnoglacialnych jest kluczowe pod kątem dalszej predykcji osuwiskowej klifu w Jastrzębiej Górze w rejonie ulicy Bałtyckiej. Najczęściej strefy poślizgu tworzą się na ich kontakcie z gliną, jak również wewnątrz samych kompleksów limnoglacialnych. Utwory te ze względu na swoje właściwości fizyczne (są plastyczne) oraz naprzemienną budowę warstwową (iły, mułki, piaski) upodabniają się strukturalnie do fliszu karpackiego, w obrębie którego najczęściej powstają osuwiska (ponad 90% wszystkich osuwisk w Polsce). W rejonie opaski gabionowej osady piaszczysto-ilaste są lekko nachylone konsekwentnie w kierunku morza, co jest dodatkowym czynnikiem sprzyjającym ich podatności na osuwanie. Warstwy piaszczyste zawierają poziomy wodonośne, które również mogą inicjować strefy poślizgu osuwisk.

Opierając się na wierceniach archiwalnych, danych z przekrojów geofizycznych oraz obserwacjach terenowych wyinterpolowano z użyciem metod statystycznych mapę predykcji zalegania stropu utworów limnoglacialnych (fig. 7). Do interpolacji zastosowano metodę geostatystyczną predykcji kriginu prostego. Otrzymany obraz zasięgu stropu łąów jest jedynie orientacyjny ze względu na małą ilość danych wejściowych. Zachodnia i południowo-zachodnia część mapy ze względu na całkowity brak danych jest tylko obrazem predykcyjnym, wynikającym z zastosowanego algorytmu interpolującego. Mimo tych niedoskonałości, udało się zobrazować dużą zmienność przestrzenną w głębokości zalegania stropu utworów limnoglacialnych. Szczególnie jest to widoczne w rejonie opaski gabionowej i powstałego w niej osuwiska.

DYSKUSJA I WNIOSKI

Badania metodą tomografii elektrooporowej klifu w Jastrzębiej Górze w rejonie ulicy Bałtyckiej pokazały skomplikowany obraz budowy geologicznej. Stwierdzono silne zaburzenia glacictektoniczne utworów mioceńskich (piaski, mułki, iły) i czwartorzędowych, czyli glin szarych oraz osadów limnoglacialnych (iły, mułki, piaski zawodnione) ze zlodowacenia wisły.

Stwierdzono dużą zmienność litologiczną w rejonie opaski gabionowej (piaski, gliny, iły, piaski eoliczne). Budowa taka przy odpowiednich nachyleniach terenu i zaburzeniach glacictektonicznych predysponuje ten obszar do tworzenia się osuwisk, szczególnie ze względu na obecność silnie zdeformowanych glacictektonicznie utworów limnoglacialnych (iły i zawodnione piaski) oraz kontakt osadów wysoczyzny z młodszymi osadami deluwialnymi i eolicznymi. Ustalono, że strop utworów limnoglacialnych w rejonie opaski gabionowej występuje na głębokości od 7 do 10 m p.p.t. Strop utworów mioceńskich stwierdzono już na głębokości około 25 m. Dodatkowo wykonano interpolację przestrzennego ich zasięgu z użyciem metod geostatystycznych na podstawie danych z wierceń archiwalnych, badań geofizycznych oraz obserwacji terenowych.

Strefy poślizgu mogą się tworzyć zarówno w spągu utworów limnoglacialnych, jak i w ich obrębie. W stropie łąów występują drobne przewarstwienia pylaste i warstwy piaszczyste, które mogą przewodzić wodę. Zaburzenia glacictektoniczne mogą znacznie skomplikować przepływ wody w badanym rejonie.

W trakcie migracji wód niosących cząsteczki ilaste mogło dojść do zailenia geowłókniny izolującej osady klifu od opaski gabionowej (fig. 4). W efekcie geowłóknina stała się strefą poślizgu.

Pokrycie stoku wysoczyzny osadami deluwialnymi i eolicznymi jest kolejnym elementem budowy geologicznej osłabiającym stabilność podłoża. Na granicy osadów eolicznych i deluwialnych z osadami wysoczyzny mogą również tworzyć się strefy poślizgu. Przesączająca się woda opadowa gromadzi się na kontakcie między tymi osadami, ułatwiając poślizg.

Na 90 m JASG 2 zaznaczyła się wyraźna granica między osadami wysoczyzny i młodszymi osadami deluwialnymi i eolicznymi. Jest to miejsce predysponowane do ruchów osuwiskowych.

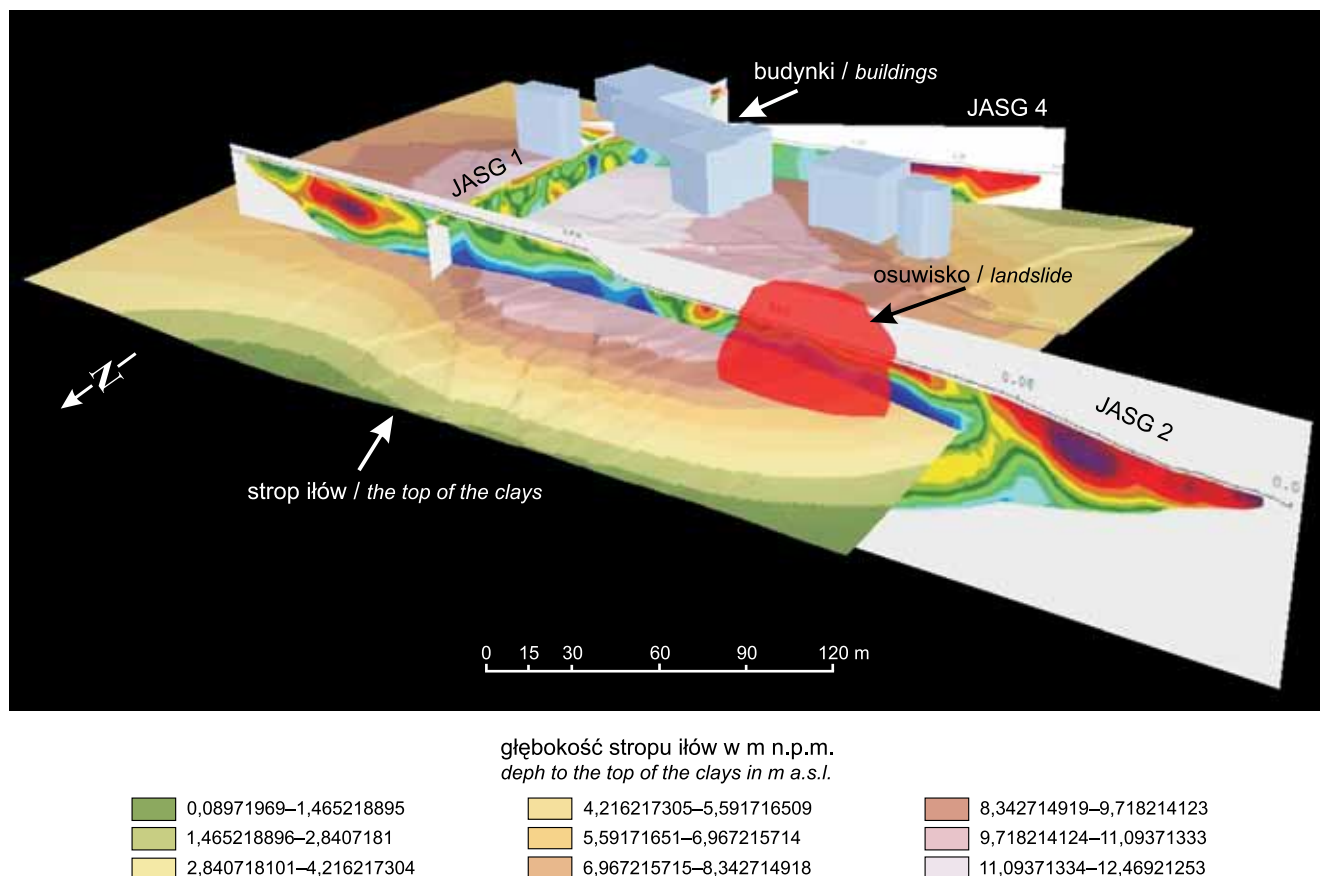


Fig. 7. Widok przestrzenny stropu ilów

Spatial view of the clays top

W części wschodniej profilu JASG 2 stwierdzono bardzo dużą zmienność litologiczną osadów zaburzonych glaciektonicznie. Dalsze badania geofizyczne klifu położonego na wschód od ulicy Bałtyckiej pozwoliłyby lepiej opracować model budowy geologicznej tego terenu, precyzyjniej określić hydrodynamikę poziomów wodonośnych, a co za tym

idzie lepiej zabezpieczyć klif przed niszczącym działaniem ruchów masowych.

Badania tomografią elektrooporową pozwoliły prześledzić rozprzestrzenienie się utworów piaszczysto-żwirowo-kamienistych, odsłaniających się w klifie.

LITERATURA

- KONDRACKI J., 1998 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KRAMARSKA R., FRYDEL J., JEGLIŃSKI W., 2011 — Zastosowanie metody naziemnego skaningu laserowego do oceny geodynamiki wybrzeża na przykładzie klifu Jastrzębiej Góry. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446**: 101–108.
- SKOMPSKI S., 1997 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Puck. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SKOMPSKI S., 2001 — Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Puck. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SUBOTOWICZ W., 1982 — Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski. Ossolineum PAN, Wrocław–Warszawa–Kra-ków–Gdańsk.
- SUBOTOWICZ W., 1991 — Ochrona brzegu klifowego na odcinku Jastrzębia Góra–Rozewie. *Inż. Morska Geotech.*, **4**: 143–145.
- SUBOTOWICZ W., 2000 — Badania geodynamiczne klifów w Polsce i problem zabezpieczania brzegu klifowego w Jastrzębiej Górze. *Inż. Morska Geotech.*, **5**: 252–257.
- WERNO M., 2002 — Zabezpieczenie klifu w Jastrzębiej Górze. *W: Geologia regionu gdańskiego. Przew. 73. Zjazdu Pol. Tow. Geol.* (red. J. Zachowicz, R. Kramarska): 67–68. Państw. Inst. Geol., Oddz. Geologii Morza, Gdańsk.

- WERNO M., 2010 — Dokumentacja badań geotechnicznych klifu w Jastrzębiej Górze na odcinku km 134.270–134.477 obejmujących otwory badawcze z pobraniem prób gruntu oraz badania laboratoryjne dla określenia parametrów fizycznych i mechanicznych podłoża. Arch. Urzędu Morskiego w Gdyni.
- ZALESZKIEWICZ L., MASŁOWSKA M., KOSZKA-MARON D., OLSZAK I., 2000 — Klif w Jastrzębiej Górze. *W: Stratygrafia czwartorzędu i zanik lądolodu na Pojezierzu Kaszubskim. VII Konf. Stratygrafia plejstocenu Polski* (red. S. Uścińowicz, J. Zachowicz): 117–119. Państw. Inst. Geol., Oddz. Geologii Morza, Gdańsk.

SUMMARY

The electrical resistivity tomography was used to investigation of geological structure of Jastrzębia Góra cliff. This investigation can help to stabilize a coastline and delimit harmful geodynamic processes. The four resistivity sections was produced: JASG 1, JASG 2, JASG 3 and JASG 4 of 940 meters total length. The archival geological data from drillings was also worked out and used in the data analysis.

The top of the limnoglacial deposits in the vicinity of gabion band in Jastrzębia Góra cliff was found in the interval of 7–10 meters below the surface. The Miocene deposits occur at the depth of about 25 meters.

In addition, spatial interpolation was performed using a range of methods and data geostatistics archival drilling, geophysical surveys and field observations.