

Badania stateczności i monitoring stoku pod kaplicą św. Jana z Dukli w Trzcianie

Zbigniew Bednarczyk¹



Slope stability and monitoring assessment under the chapel of St. John of Dukla in Trzciana Slope. Prz. Geol., 72: 756–771; doi: 10.7306/2024.65

Abstract. This article presents the results of geological engineering investigations near the chapel of St. John of Dukla. In connection with the discovery of a historic bell buried during World War II and the renovation of the bell tower, the Bernardine Order in Dukla in 2021 asked the author of this paper to determine the stability of the slope near it. Inclinator and piezometer measurements of the area under the chapel made it possible to check the effectiveness of the pile buttress and drainage system that had been constructed. They also made it possible to observe displacements in the ground to warn of landslide dangers. Analysis of the geological processes occurring and the studies performed, as well as the 64 series of measurements made it possible to assess the effectiveness of the 2004 stabilization work and the degree of stability of the slope in the area of the planned renovation of the bell tower. The measurements made indicate that the region of the chapel has been protected from the possibility of large-scale deep ground displacements. On the other hand, the region below the made stabilization may continue to be exposed to landslide processes. Numerical analyses in the section below the bell tower performed on the basis of the 2002 geological documentation, without taking the stabilization into account, showed that there were very low stability coefficients $FS = 0.78$ for the entire slope. With the inclusion of the 2004 stabilization, the stability coefficient increased, but it was still relatively low and amounted to $FS = 1.03$. The analysis of the bedrock layers in the area of the renovated bell tower confirmed the possibility of its renovation, which included the construction of new foundations, a mechanical actuation system as well as the suspension of the bell found after 80 years, which was implemented, taking into account the recommendations made by the author, in May 2022. The protection of the chapel of St. John of Dukla seems to have been successful so far, but due to the scale of the phenomena occurring in the past, the large difference in the relative height of the slope, the unfavorable strength parameters of the subsoil and at the same time the special nature of the chapel of St. John of Dukla, monitoring measurements should be continued.

Keywords: landslide stabilization, landslide monitoring, national heritage protection

Kaplica św. Jana z Dukli jest położona w Beskidzie Środkowym w paśmie Beskidu Niskiego (Kondracki, 2014). Rejon badań znajduje się na północnym zboczu góry Zaśpít w masywie Mszany. Miejsce to znajduje się w odległości 1,2 km na zachód od miejscowości Trzciana na zalesionym stoku (ryc. 1–7) na wysokości 480–502 m n.p.m.

Wysokość góry Zaśpít i okolicznych wzniesień ponad kaplicą przekracza 660 m n.p.m.

Kaplica św. Jana z Dukli została zbudowana z piaskowca w latach 1906–1908 w stylu neogotyckim na tarasie wyciętym w stoku i zabezpieczonym ponad świątynią murem oporowym z piaskowca o wysokości ok. 1 m (ryc. 1).



Ryc. 1. Kaplica św. Jana z Dukli wraz z grotą i źródłem
Fig. 1. The chapel of St. John of Dukla with grotto and spring

¹ POLTEGOR-INSTYTUT Instytut Górnictwa Odkrywkowego, ul. Parkowa 25, 51-616 Wrocław; zbyszb@poczta.onet.pl; ORCID ID: 0000-0001-6474-9107



Ryc. 2. Górna granica osuwiska Domu Pielgrzyma i kaplicy św. Jana z Dukli w 2004 r.

Fig. 2. The upper limit of the landslide below the Pilgrim House and the chapel of St. John of Dukla in 2004



Ryc. 3. Teren zabezpieczonego osuwiska poniżej kaplicy z systemem drenażu powierzchniowego

Fig. 3. The area of the protected landslide below the chapel with the surface drainage system

W 1933 r., z okazji jubileuszu 200-lecia beatyfikacji św. Jana z Dukli, przy kaplicy od strony północnej postawiono dzwonnice z trzema dzwonami, z których dwa zaginęły w czasie II wojny światowej. Dzwonnica posadowiona jest na fundamencie betonowym bezpośrednio na skarpie przy kaplicy. W miejscu pod dzwonnice stok nie jest zabezpieczony, a jedynie podparty niskim murem oporowym o wysokości ok. 0,5 m.

W 2021 r., po 80 latach, odnaleziono jeden z trzech zabytkowych dzwonów (ryc. 5), zakopany podczas II wojny światowej. Przywrócenie pierwotnej liczby dzwonów i budowa nowego systemu ich uruchamiania wymagała przeprowadzenia remontu dzwonnicy i jej fundamentów, zapewnienia stateczności konstrukcji oraz modernizacji systemu odwodnienia ponad dzwonnice. Cztery podpory dzwonnicy wykonane w 1933 r. z rur wiertniczych (średnicy 150 mm) były umocowane, zagłębione i zabetonowane w gruncie pod fundamentem. Nie była natomiast znana dokładna głębokość ich instalacji (ryc. 4). Ze względu na zły stan fundamentu pod dzwonnice oraz częściową korozję rur budujących dzwonnice rozważana była budowa nowej dzwonnicy lub remont fundamentu i historycznej konstrukcji dzwonnicy. W celu sprawdzenia posadowienia dzwonnicy przeanalizowano warunki geologiczno-inżynierskie podłoża oraz wykonano analizę stateczności stoku z uwzględnieniem wcześniejszych prac stabilizacyjnych. Uwzględniono wykonane dotychczas zabezpieczenie zbocza, wyniki realizowanego od 2006 r. monitoringu geotechnicznego przy kaplicy oraz przedsięwzięcia niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa.



Ryc. 4. Dzwonnica przed renowacją: A – widok z dołu; B – podpora dzwonnicy od strony kaplicy

Fig. 4. The bell tower before renovation: A – bottom view; B – support of the bell tower, view from the chapel side



Ryc. 5. Odnalezienie zaginionego w czasie wojny dzwonu nad kaplicą św. Jana z Dukli

Fig. 5. Finding the bell over the chapel of St. John of Dukla, which was lost during the war

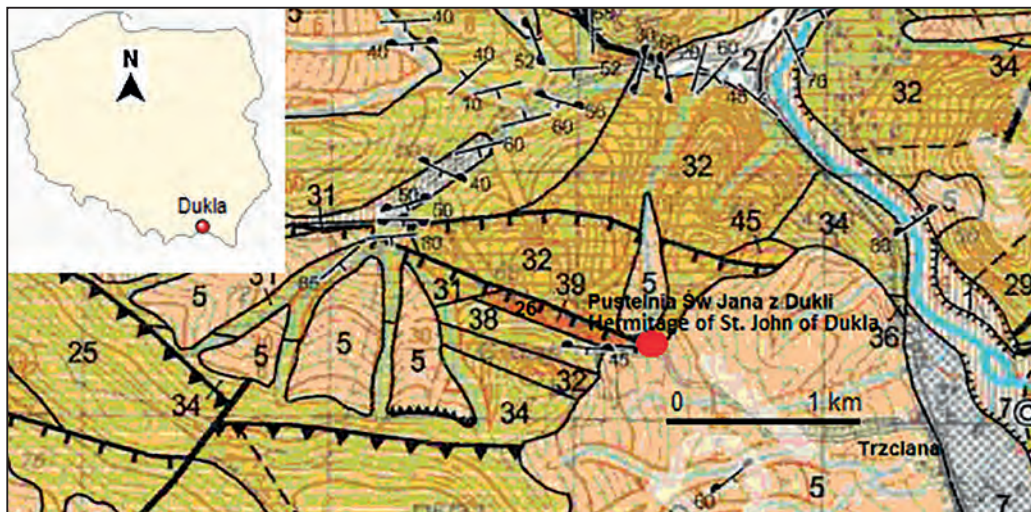
MATERIAŁ BADAŃ

Budowa geologiczna

Analizowany rejon znajduje się w Beskidzie Niskim w południowo-wschodniej części płaszczowiny magurskiej, w obrębie jednostki Dukli. Zbudowany jest ze skał osadowych fliszu karpackiego, naprzemiennie ułożonych ławic, piaskowców i łupków ilastych. Warstwy fliszu zostały sfałdowane ok. 28 mln lat temu. Powstały i nasunęły się na siebie wówczas trzy płaszczowiny, najniższa – śląska, środkowa – dukielska i najwyższa – magurska. Najważniejszym elementem powstałej w neogenie płaszczowiny magurskiej były licznie występujące na badanym terenie piaskowce. W ramach wododziału Dukli grzbiety górskie o wysokości ponad 600 m n.p.m. są zbudowane z piaskowców cergowskich (Kondracki, 2014). W rejonie znajduje się ponad 100 osuwisk, w większości czynnych, oraz obszarów podatnych na występowanie przemieszczeń wgłębnych. Grupują się one w wychodniach skał fliszowych, z przewagą łupków ilastych, przede wszystkim łupków pstrych, brunatnych i zielonych, na stokach i zboczach o upadach konsekwentnych, w strefach uskoków poprzecznych oraz źródeł (Bober, Thiel, 1980). Dotyczy to jednostek: magurskiej, dukielskiej, strefy przeddukielskiej oraz środkowej. Zarejestrowane czynne osuwiska stwierdzono między innymi w okolicach miejscowości: Dukla i Trzciana. Większość osuwisk wielokrotnie się uaktywniało głównie w związku ze wzmożonymi opadami i nawodnieniem utworów koluwalnych. Osuwiska mają charakter strukturalny lub strukturalno-zwietrzelinowy (Rączkowski, Mrozek, 2002). Aktywację lub reaktywację współczesnych osuwisk w rejonie warunkuje strome nachylenie zboczy, stosunkowo duże różnice wyso-

kości względnych oraz intensywne opady atmosferyczne. Zaleganie w podłożu spękanych piaskowców sprzyja infiltracji wód opadowych. W wyniku tych procesów niżej leżące łożyska mogą ulegać uplastycznieniu, a w ich obrębie mogą powstawać powierzchnie poślizgu, w wyniku czego zbroczą są podatne na przemieszczenia wgłębne. Rzeźba terenu wykazuje wyraźną zależność od zwięzłości, odporności na procesy wietrzenia i zaangażowania osuwiskowego skał podłoża. Wiąże się ona także z przebiegiem struktur tektonicznych. Grzbiety górskie zbudowane są z odporniejszych na wietrzenie kompleksów piaskowców magurskich (Starkel i in., 2008). Kierunki przebiegu wzniesień nawiązują zazwyczaj do przebiegu fałdów i łusek tektonicznych. Wzniesienia w badanym terenie są najczęściej zaokrąglone, o wierzchołkach do 50–100 m szerokości, wysokości 500–620 m n.p.m. Ich nachylenie, zależne od odporności skał podłoża, jest zróżnicowane i waha się w granicach 3–30°. Stoki są często przemodelowane przez osuwiska. W ich obrębie zaznaczają się nisze i bezodpływowe zagłębienia, w których gromadzą się wody opadowe. Progi mogą mieć od kilku do nawet kilkunastu metrów wysokości. Jezory osuwiskowe są nieregularne, o urozmaiconej powierzchni, z wałami i nabrzmieniami (Jankowski, Kopciowski, 2006). Szczególnie niekorzystne warunki geologiczno-inżynierskie występują w obszarach płytkiego występowania wód gruntowych, tj. 0,0–2,0 m p.p.t., obszarach o spadkach powyżej 20%, przede wszystkim na zboczach dolin, wąwozów, obszarach źródłiskowych, strefach uskoków poprzecznych i krawędziach skarp zbudowanych z gruntów podatnych na spęływanie. Budowę geologiczną rejonu oraz występujące w rejonie kaplicy św. Jana z Dukli osuwiska przedstawiono na rycinie 6.

Podłoże w rejonie kaplicy i dzwonnicy św. Jana z Dukli jest zbudowane z utworów fliszowych. W rejonie tym wy-



Ryc. 6. Fragment *Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50000* Arkusz Nowy Żmigród (Dukla) z Pustelnią św. Jana z Dukli (Jankowski, Kopciowski, 2006): 5 – ily gliny, gliny z rumoszem skalnym, głązy oraz bloki, pakiety fliszu – koluwalne, Holocen; 39 – łupki brunatne, zielone oraz piaskowce cienkoławicowe – Eocen; 32 – łupki oraz piaskowce cienkoławicowe i rogowce (łupki melinitowe), Oligocen; 38 – piaskowce i łupki, łupki z Mszanki, Oligocen; 31 – łupki i piaskowce Oligocen; 26 – łupki brunatne oraz zielone, piaskowce cienkoławicowe Eocen

Fig. 6. Fragment of the *Detailed Geological Map of Poland 1:50000* Sheet of Nowy Żmigród (Dukla) with the Hermitage of St. John of Dukla (Jankowski, Kopciowski, 2006): 5 – clay loams, clays with rock rubble, boulders and blocks, flysch packets – colluvial, Holocene; 39 – brown and green shale and thin-bedded sandstone – Eocene; 32 – shale and thin-bedded sandstone and hornblende (melinitic shale) Oligocene; 38 – sandstone and shale, Mszanka shale – Oligocene; 31 – shale and sandstone – Oligocene; 26 – brown and green shale, thin-bedded sandstone – Eocene

stępują głównie grunty i skały ilaste oraz piaskowce (ryc. 6). Są to łupki ilaste brunatne, zielone oraz piaskowce cienkoławicowe z holocenu (39), łupki ilaste oraz piaskowce cienkoławicowe i rogowce łupki melinitowe z eocenu (32), łupki ilaste brunatne oraz piaskowce cienkoławicowe z eocenu (32) oraz czwartorzędowe i współczesne osuwiskowe grunty koluwalne – ily gliny, gliny z rumoszem skalnym, gazy oraz bloki, pakiety fliszu (5).

Warunki geologiczno-inżynierskie

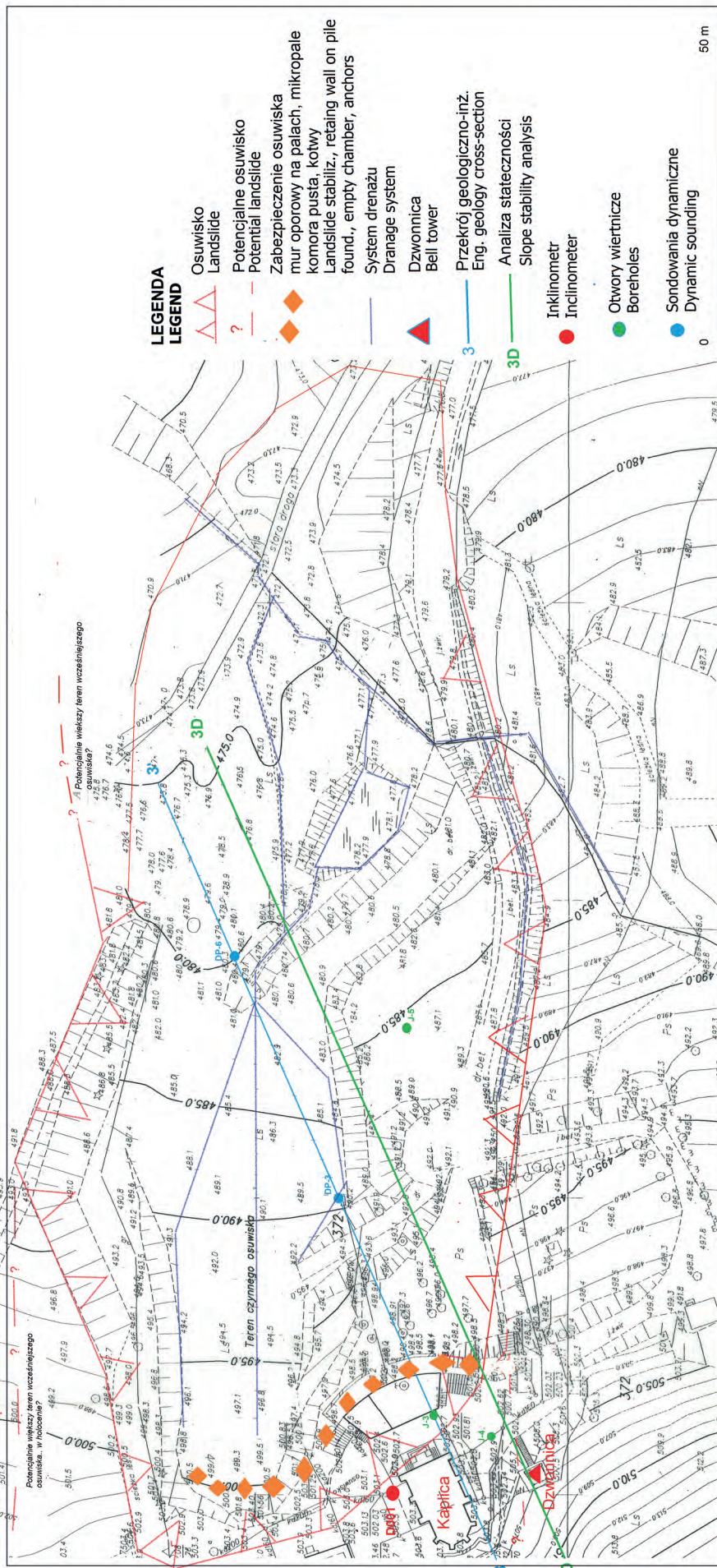
Rejon dzwonnicy przy Kaplicy św. Jana z Dukli znajduje się na stoku, na granicy piaskowców z Mszanki i łupków ilastych w strefie uskołu tektonicznego. Zbocze nad kaplicą i sama kaplica posadowione są na warstwie piaskowców natomiast podłoże groty i niżej leżące warstwy budują łupki ilaste o dużej podatności osuwiskowej. W podłożu występuje jeden poziom wodonośny na głębokości 1,9–3,2 m, wzdłuż którego zachodziły przemieszczenia wgłębne. Głębiej, na głębokości 4,0–4,4 m, stwierdzono w trakcie wierceń dokumentacyjnych ślady po przepływającej okresowo wodzie gruntowej. Poziom ten jest zasilany przez opady atmosferyczne i wiosenne roztopy, co przyczyniało się w przeszłości do aktywacji procesów osuwiskowych.

Źródło w grotcie pod kaplicą św. Jana z Dukli jest zasilane bezpośrednio z warstw piaskowcowych. Położenie na stoku o ekspozycji północnej powoduje spowolnienie i wydłużenie wiosennych roztopów, co w dłuższym okresie sprzyja nawodnieniu gruntów i skał ilastych, zwiększając ich ciężar objętościowy i jednocześnie obniżając ich parametry wytrzymałościowe. Wpływa to także na zmiany ciśnienia spływowego, co aktywuje przemieszczenia wgłębne. Rejon kaplicy znalazł się kilkakrotnie w strefie osuwisk, między innymi w 1998, 2000, 2002 i 2004 r. Pierwsze duże przemieszczenia w rejonie kaplicy zarejestrowano wiosną 1998 r. po intensywnych opadach atmosferycznych. Wiosną 2000 r. powstała nowa skarpa główna osuwiskowa, której górna krawędź znajdowała się w odległości kilku metrów od wejścia do kaplicy. Wzmoczona aktywność osuwiskowa występowała również wiosną 2002 r. Po tym okresie przemieszczenia wgłębne ustały (Wysokiński i in., 2003). Ponownie aktywowały się one w rejonie istniejącego wcześniej osuwiska wiosną 2004 r. (ryc. 2). Poniżej świątyni, po wiosennej odwilży, na stoku o nachyleniu powyżej 20° powstało osuwisko o długości ok. 200 m i szerokości 50–100 m. Górna krawędź skarpy głównej osuwiska przybliżyła się niebezpiecznie blisko do Domu Pielgrzyma. Głębokie spękania powstały wtedy na ścia-

Tab. 1. Profile otworów wiertniczych J-3, J-4 i J-5 (Malinowski, 2000)

Table. 1. Profiles of J-3, J-4 and J-5 boreholes (Malinowski, 2000)

Profil otworu wiertniczego J-3 przy dzwonnicy – górna część stoku <i>Profile of J-3 borehole at the bell tower – upper part of slope</i>		
Głębokość <i>Depth</i>	Rodzaj gruntów / skał <i>Soil / ground type</i>	Głęb. Zw. Wód Gr. GWL
0,0–1,1	Żwir gliniasto-piaszczysty / <i>Loamy sandy gravel</i>	3,3 m
1,1–2,5	ł plastyczny z okruchami cegieł (grunt antropogeniczny) / <i>Clay of high plasticity with brick chips (anthropogenic soil)</i>	
2,5–2,7	Żwir / <i>Gravel</i>	
2,7–3,7	ł piaszczysty plastyczny, miękkoplastyczny / <i>Sandy l claym plastic, soft plastic</i>	
3,7–4,1	ł piaszczysty miękkoplastyczny, płaszczyna poślizgu, ślady po przepływie wody <i>Soft sandy l clay, slip surface, traces of groundwater flow</i>	
4,1–4,8	Zwierztałe podłoże, ł twaroplastyczny przechodzący w łożupki <i>Weathered subsoil, hard plastic clay with transition to claystone</i>	
4,8–8,0	łołupki brązowe, brązowo-niebieskie / <i>rown, brownish-blue claystone</i>	
Profil otworu wiertniczego J-4 przy kaplicy św. Jana, górna część stoku <i>Profile of J-4 borehole at the chapel of St. John of Dukla, upper part of slope</i>		
0,0–0,6	ł brązowy plastyczny z okruchami piaskowca / <i>Brown plastic clay with sandstone flecks</i>	Brak danych <i>No data</i>
0,6–1,0	ł z okruchami łupka, niebieskoszaro-brązowy / <i>Clay with shale flecks, blue-greyish brown</i>	
1,0–1,2	ł piaszczysty z domieszką zwierztałych okruchów piaskowca <i>Sandy clay with weathered sandstone flecks</i>	
1,2–2,0	Piaskowiec zwierztały drobnoziarnisty / <i>Fine, weathered sandstone</i>	
Profil otworu wiertniczego J-5 – środkowa część stoku pod dzwonnica <i>Profile of J-5 borehole – middle part of the slope under the bell tower</i>		
0,0–0,2	Gleba / <i>Soil</i>	Brak danych <i>No data</i>
0,2–1,0	Gлина piaszczysta z okruchami piaskowca mikowego, drobnoziarnistego rdzawo-żółtego <i>Sandy loam with micaceous sandstone crumb, fine-grained rusty yellow</i>	
1,0–1,5	Gлина piaszczysta stalowo-szara z rdzawymi przewarstwieniami <i>Steel-grey sandy clay with rusty interbedd</i>	
1,5–2,8	Rumosz łupkowo-piaskowcowy / <i>Slate-sandstone rubble</i>	
2,8–4,0	łołupek stalowo-szary, suchy z pojedynczymi wkładkami cienkoławicowych piaskowców drobnoziarnistych <i>Steel-grey dry clayey claystone e with isolated interbeds of thin-bedded fine-grained sandstone</i>	
4,0–8,5	łołupek stalowo-szary, zwięzły / <i>Steel-grey clayey claystone, cohesive</i>	
8,5–9,5	łołupek stalowo-szary, rozpadający się / <i>Steel-grey claystone, disintegrated</i>	
9,5–10,5	łołupek z piaskowcem drobnoziarnistym / <i>Claystone with fine-grained sandstone</i>	
10,5–12,5	łołupek zielony / <i>Claystone, green</i>	
12,5–14,0	łołupek stalowo-szary / <i>Steely-grey claystone</i>	
14,0–14,4	Piaskowiec drobnoziarnisty, jasnoszary / <i>Fine-grained sandstone, light grey</i>	
14,4–17,0	łołupek stalowo-szary, suchy zwięzły / <i>Steel grey claystone, dry, cohesive</i>	



Ryc. 7. Mapa dokumentacyjna lokalizacji archiwalnych pomiarów monitoringowych oraz przekroju do analizy stateczności
Fig. 7. Documentation map of location of archival boreholes and dynamic soundings made for monitoring measurements and section of stability analysis

nach i podłodze kaplicy. Pęknięcia zaobserwowano także na dziedzińcu przed wejściem do kaplicy. Prawa krawędź osuwiska znalazła się w odległości zaledwie kilku metrów od wejścia do kaplicy (ryc. 2). W prawej części niszy osuwiska ośrodek osiadł o prawie pół metra. Osuwisko na szczęście nie objęło jednak przy tej aktywacji całego budynku kaplicy, chociaż należy zaznaczyć, że cały stok góry Zaśpít mógł być w przeszłości geologicznej objęty procesami osuwiskowymi, na co wskazuje morfologia części terenu ponad i poniżej kaplicy.

Wiercenia wykonane w 2000 r. w ramach dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wykazały jeden poziom wodonośny związany z kolumnami warstw łupkowo-piaszczystych na głębokości 3,5–4,4 m p.p.t. Otwory potwierdziły występowanie w podłożu przemieszczanych warstw koluwialnych zwierzelin, łupków i piaszczystych, a pod nimi zwierzeliny łupków z wkładkami piaszczystymi i, głębiej pod nimi, bardziej zwięzłych łupków i piaszczystych (Malinowski, 2000). Teren osuwiskowy na zboczu góry Zaśpít jest większy niż osuwisko pod kaplicą św. Jana z Dukli. W ramach tej dokumentacji trzy przekroje geologiczno-inżynierskie udokumentowały występowanie gruntów koluwialnych do głębokości ok. 5–10 m p.p.t. W rejonie poniżej zlokalizowany był przekrój 3–3' (ryc. 7). Bezpośrednio przy skarpie dzwonnicy (na poziomie przy kaplicy) zlokalizowano otwór J-4 o głębokości 2 m p.p.t., a przed wejściem do kaplicy otwór J-3 o głębokości 8 m p.p.t. Profile tych otworów zestawiono w tabeli 1, a ich lokalizację przedstawiono na rycinie 7.

Wykonane badania ilów piaszczystych z otworu J-3 z głębokości 2,5–4,8 m wskazują na konsystencję miękkoplastyczną oraz wzrost stopnia ich plastyczności po nawodnieniu (Malinowski, 2000). Przy dzwonnicy do głębokości 2 m występują grunty ilaste –

zwietrzałe iłolupki (otw. J-4), pod którymi zalega warstwa piaskowców. Poniżej kaplicy w kierunku grotty przeważają grunty ilaste i iłolupki (otw. J-3). W dolnej części stoku (otwór J-5) przeważają grunty ilaste i rumosze, do głębokości 4,8 m w stanie miękkoplastycznym. Zwięzła warstwa piaskowców i łupków ilastych, o korzystnych parametrach wytrzymałościowych, występowała w tym otworze na głębokości 14–17 m. Badania przedstawione w dokumentacji z 2000 r. obejmowały także sondowania dynamiczne i badania geofizyczne. Badania elektrooporowe wykazały występowanie następujących oporności elektrycznych: ility plastyczne 5–40 Ohm, łupki naruszone tektonicznie 30–50 Ohm, łupki z cienkimi przewarstwieniami piaskowców – powyżej 80 Ohm, piaskowce gruboławicowe 80–380 Ohm. Wyższe wartości oporności odpowiadały skałom o większej zwięzłości. Badania geofizyczne podłoża na stoku ponad kaplicą i dzwonnica nie wykazały występowania płaszczyzn poślizgu, a jedynie to, że kościół jest posadowiony na cienkiej warstwie zwietrzałych iłolupków (o charakterze gruntów ilastych) i stosunkowo zwięzłych piaskowców, których miąższość wzrasta w górę stoku. Teren pod kościołem, w rejonie obecnej grotty i w bliskiej odległości poniżej grotty, jest posadowiony do głębokości 4,1 m na miękkoplastycznych skałach ilastych i rumoszu iłolupków.

Stabilizacja osuwiska

Prace projektowe zostały wykonane przez zespół Instytutu Techniki Budowlanej (ITB), pod kierownictwem prof. Lecha Wysokińskiego, i finansowane w ramach projektu System Osłony Przeciwoświsowej (SOPO). W analizach geotechnicznych stwierdzono – do głębokości 10 m p.p.t. – występowanie koluwiów o następujących parametrach: $\phi = 8$, $c = 10$ kPa, $\gamma = 19$ kN/m. Podłoże budowały łupki ilaste o parametrach: $\phi = 25$, $c = 21$ kPa, $\gamma = 21$ kN/m. Wykonana w 2003 r. przez ITB analiza stateczności górnej reaktywowanej części osuwiska metodą równowagi granicznej Janbu wskazała na niekorzystny wskaźnik stateczności stoku $FS = 1,09$ przed zabezpieczeniem. Prace projektowe prowadzono w latach 2002–2003 (Biegun, 2001, 2003; Wojtowicz, Frey, 2001; Wysokiński, 2002). Zabezpieczenie stoku i kaplicy wykonano w latach 2004–2005. Pierwotnie wykonany projekt został skorygowany (na wniosek zespołu opiniującego projekt SOPO). Dotyczyło to szczególnie zabezpieczenia stoku pod Domem Pielgrzyma oraz systemu odwodnienia. Zaprojektowane i wykonane prace obejmowały zabezpieczenie kaplicy św. Jana z Dukli przed osunięciem przez blok oczepowo-oporowy na palościance z mikropalami o długości 8–12 m i z kotwami bocznymi. Poniżej Domu Pielgrzyma i kaplicy św. Jana z Dukli, od strony północnej wykonano palisadę składającą się z 40 pali (Wysokiński, 2002). Pale o długości 18–22 m umieszczone zostały w dwóch rzędach. Pierwszy rząd pali, o długości 18 m, od strony krawędzi niszy i Domu Pielgrzyma wykonanych pionowo, pracujących na wciskanie i wyciąganie. Drugi rząd pali ukośnych o długości 22 m odchylonych od pionu o 15 wykonany został w kierunku osuwiska i pracują one na wciskanie. Oba rzędy pali zostały zwieńczone oczepem żelbetowym. Przyporę palową skonstruowano z rur stalowych o średnicy 305 mm połączonych belką oczepową o szerokości 3,10 m z rozstawem osiowym pali 1,2 m. Zabezpieczenie kaplicy objęło również zbudowanie sztucznej grotty tzw. „komory pustej”, systemu odwodnienia podziemnego i dwóch ujęć wody źródlanej poniżej kaplicy. Grotę posado-

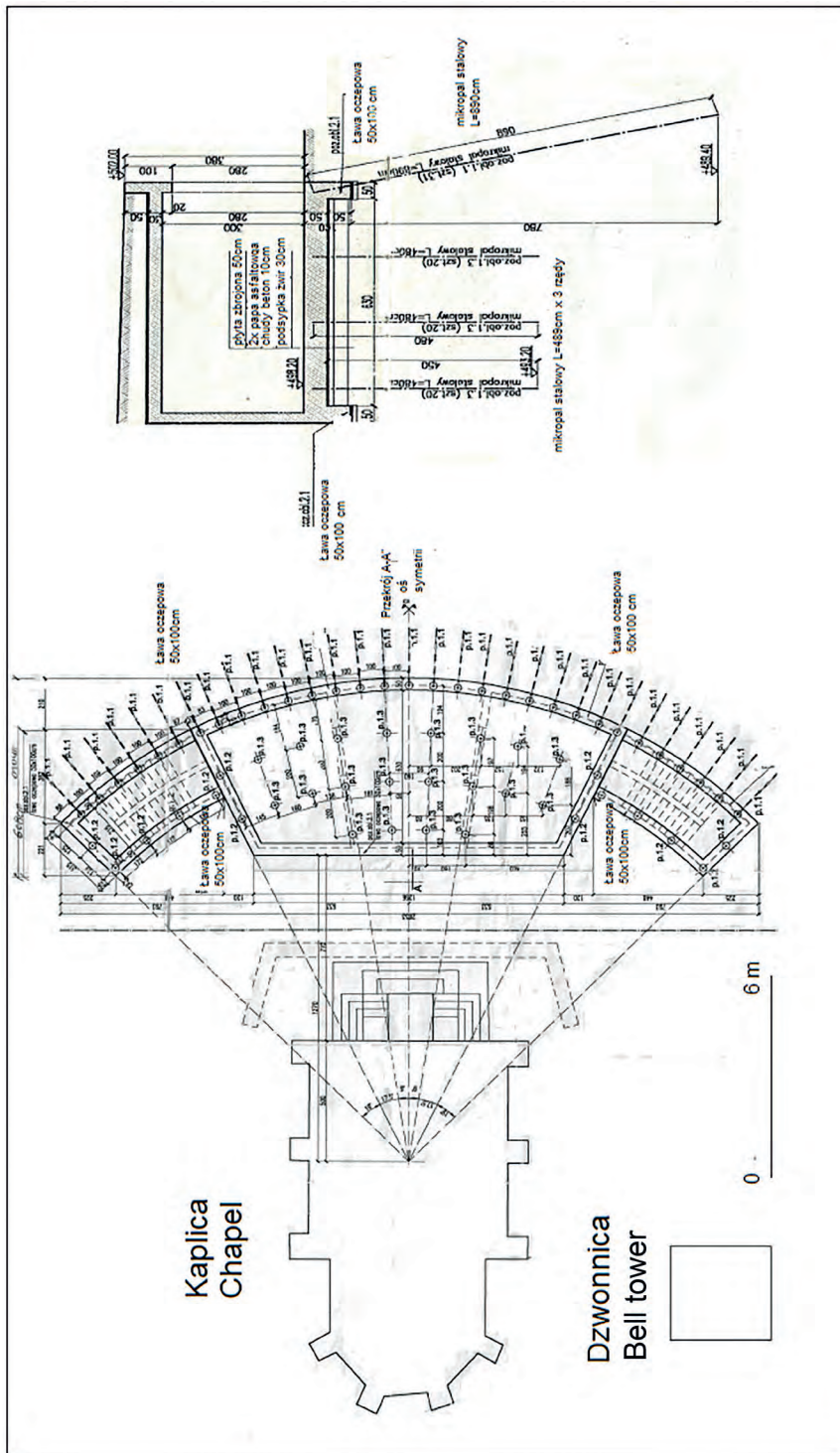
wiono na fundamencie zbudowanym z mikropali odwierconych do głębokości 8–12 m. Dolną część mikropali posadowiono w warstwach skalnych nieobjętych procesami osuwiskowymi, charakteryzujących się bardziej korzystnymi parametrami geotechnicznymi. W celu odprowadzenia wód opadowych poza rejon osuwiska zbudowano system odwodnienia w postaci rowów drenażowych wąskoprzestrzennych o szerokości w dnie 0,5–1,2 m, wyścielonych geowłókniną, z umieszczoną w środku rurą drenżową ϕ 200 mm PEHD i wypełnionych kamieniem łamanym (ryc. 3). System odwodnienia powierzchniowego kieruje wody opadowe do zbiornika otwartego zlokalizowanego u podnóża osuwiska. We wnętrzu kaplicy zabezpieczono istniejące na jej ścianach spękania. Wzmocniono także fundamenty systemem ściągów podposadzkowych, iniekcji scalających i kotew mocowanych pomiędzy krużgankami wejściowymi i ścianą frontową. Prace stabilizacyjne przyczyniły się do poprawy warunków stateczności. Zabezpieczenie terenu pod kaplicą, z uwzględnieniem lokalizacji remontowanej dzwonnicy, przedstawiono na rycinie 8.

METODY BADAŃ

Wizję lokalną terenu przeprowadzono dwukrotnie w dniach 1 lipca i 22 października 2021 r. Stwierdzono, że stok wybudowanej w 1933 r. dzwonnicy jest narażony na intensywne procesy erozyjne i wsiąkanie wód opadowych. W skarpie pod dzwonnica od strony kaplicy odsłaniają się zwietrzałe iłolupki oraz fragmenty piaskowca. Widoczne były skutki erozji i wymywania gruntu. Stwierdzono także, że konstrukcja naziemna starej dzwonnicy była skorodowana, a jej fundament miejscowo spękany i przechylony ku stokowi, poprzez co mogły gromadzić się na jego powierzchni wody opadowe. Mogło to powodować – przy ujemnych temperaturach – spękania podstawy fundamentu. Wody opadowe w rejonie stoku, pod dzwonnica i ponad kaplicą, mogły także niekorzystnie wpływać na stateczność stoku. Stwierdzono także, że mur oporowy o wysokości ok. 1,5 m ponad kaplicą św. Jana z Dukli, wybudowany ponad sto lat temu, posiadał zamulone otwory drenażowe, a część rowu odwodnieniowego, biegnącego od południowej strony osuwiska przy drodze asfaltowej, wymagała oczyszczenia i udrożnienia (szczególnie w rejonie przepustu pod drogą asfaltową). Po intensywnych opadach atmosferycznych duża ilość wód opadowych spływała w dół stoku z wyżej położonych terenów w rejon kaplicy oraz dzwonnicy. Ilość tych wód mogła być duża, mając na uwadze, że różnica względna wysokości od szczytu góry Zaśpít do rejonu kaplicy wynosi ponad 160 m. Infiltracja wód powodująca uplastycznienie iłolupków i gruntów ilastych była w przeszłości głównym czynnikiem aktywującym przemieszczenia wgłębne. Zalecono, aby ograniczyć dopływ wód w rejon kaplicy poprzez wykonanie drenażu powierzchniowego.

Monitoring inklinometryczny

Po pracach stabilizacyjnych, wykonanych w 2006 r., teren osuwiska był pod ciągłą obserwacją zakonu Bernardynów. Nie stwierdzili oni żadnych istotnych przemieszczeń w pobliżu kaplicy, jednak ten ogólny wniosek był oparty tylko na wizji lokalnej i nie było żadnych pomiarów potwierdzających skuteczność zabezpieczeń. Nie wykonano także żadnego systemu kontroli i ostrzegania przed zagrożeniami. W celu sprawdzenia skuteczności prac zabezpie-



Ryc. 8. Zabezpieczenie kaplicy św. Jana z Dukli, w rejonie groty, w rejonie groty – mur oporowy z mikropali pionowych 8 m i skośnych 12 m, poniżej kaplicy, wraz z blokami kotwiącymi ścianami kaplicy (Biegun, 2001a)
Fig. 8. Protection of the chapel of St. John of Dukla, in the area of the grotto – retaining wall of 8 m vertical and 12 m inclined micropiles, below the chapel, together with anchor blocks for the chapel wall (Biegun, 2001a)

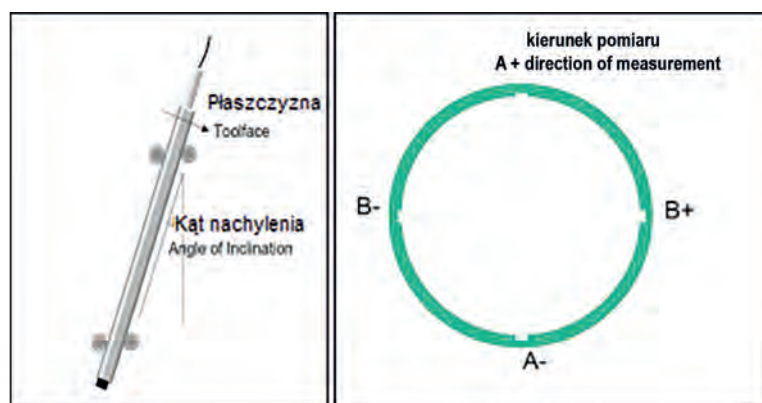
czających Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego (PIG-PIB) w 2006 r. doradził zamontowanie punktu pomiarów inklinometrycznych w rejonie kaplicy. W celu upewnienia się, że rury inklinometryczne będą osadzone w skałach podłoża osuwiska zamontowano je do głębokości 20 m. W celu zbadania głębokości poziomu wód gruntowych zabudowano piezometr z filtrem na głębokości 5 m. Do instrumentacji inklinometrycznej zastosowano rowkowane rury ABS, o średnicy zewnętrznej 70 mm, łączone na szybko-złączki i uszczelki. Do instalacji rur pomiarowych w gruncie zastosowano zaprawę cementowo-bentonitową w proporcjach specjalnie przygotowanych dla skał podłoża występujących w rejonie kaplicy. Pomiaru wy-

konano sondą wyposażoną w dwa czujniki mierzące odchylenie od pionu w płaszczyznach A i B. Główny kierunek rowków pomiarowych A był zorientowany w kierunku nachylenia stoku. Usytuowanie płaszczyzn pokazano na rycinie 9. W trakcie pomiarów rejestrowano odchylenia od pionu rur inklinometrycznych. Pomiaru wykonano w prostokątnym układzie współrzędnych, w dwóch płaszczyznach z rozróżnieniem znaku dodatniego i ujemnego.

Przemieszczenia wewnątrz rur pomiarowych mierzono, co 0,5 m w dwóch kierunkach (ryc. 10). Każdy pomiar powtarzano po obróceniu sondy o kąt 180° w celu eliminacji błędów. W przypadku stwierdzenia zbyt dużych różnic między pomiarami, testy powtarzano aż do uzyskania porów-

nywalnych wyników. Zerowe pomiary inklinometryczne, stanowiące punkt odniesienia dla wszystkich kolejnych serii pomiarowych, zostały wykonane w marcu 2006 r. W ciągu pierwszych czterech lat po instalacji wykonywano do 10 serii pomiarów rocznie. W ciągu następnych 12 lat wykonywano dwa pomiary rocznie. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie wykresów bezwzględnego nachylenia rur inklinometrycznych oraz przeliczonymi danymi pomiarowymi tzn. skumulowanymi i jednostkowymi przemieszczeniami górotworu w stosunku do wykonanych pomiarów zerowych. Wyniki przedstawiono w kierunku A+ (zgodnym z kierunkiem zbocza) i w kierunku B+ (poprzącym). Jednostkowe wartości przemieszczeń w płaszczyźnie A oraz B oraz różnice pomiędzy pomiarem zerowym i końcowym (ryc. 11). Łącznie od 4.03.2006 w ciągu ponad 17 lat wykonano 65 serii pomiarów. W 2021 r. zrealizowano dwa pomiary w dniach 1 lipca i 22 października. Ostatni pomiar z 2021 r. wykazał, że maksymalne skumulowane przemieszczenia rur inklinometrycznych w kierunku A, zgodnym z nachyleniem stoku, wynosiły maksymalnie (+) 6,8 mm na głębokości 1,8 m. W kierunku B (poprzącym NW ku osi osuwiska) przemieszczenia skumulowane wynosiły maksymalnie (-) 28,6 mm, przypowierzchniowo na głębokości 0,8 m (ryc. 12). Wartości skumulowanych przemieszczeń nie są jednak w pełni reprezentatywne, jako dokładne wartości przemieszczeń na poszczególnych głębokościach. Mogą one być wykorzystywane jedynie jako wskaźniki granic głębokości strefy zachodzących przemieszczeń. Dokładną charakterystykę rzeczywistych przemieszczeń występujących

na poszczególnych głębokościach uzyskano za pomocą przemieszczeń jednostkowych. Wykazały one zdecydowanie mniejsze wartości przemieszczeń wynoszące w kierunku A maksymalnie (+) 3 mm na głębokości 15 m oraz w kierunku B do (-) 1,5 mm na głębokościach 6, 11, 16 i 19,5 m (ryc. 12). Wyniki te wskazują, że na podłożu gruntowe pod kaplicą św. Jana z Dukli i zabezpieczenie stoku oddziałują naprężenia powodujące 3 mm wygięcie rur inklinometrycznych na głębokości 15 m w kierunku nachylenia stoku. Bardzo nieznaczne wygięcia rur inklinometrycznych stwierdzono także na kilku głębokościach od 6 do 16 m w kierunku poprzecznym B. Należy jednak zaznaczyć, że były one w granicach błędów pomiarowych, które najczęściej wynosiły do ok. 0,3 mm, a w niektórych przypadkach do 1 mm.



Ryc. 9. Sonda inklinometryczna, schemat płaszczyzn pomiarowych A (+), A(-), B(+), B(-)

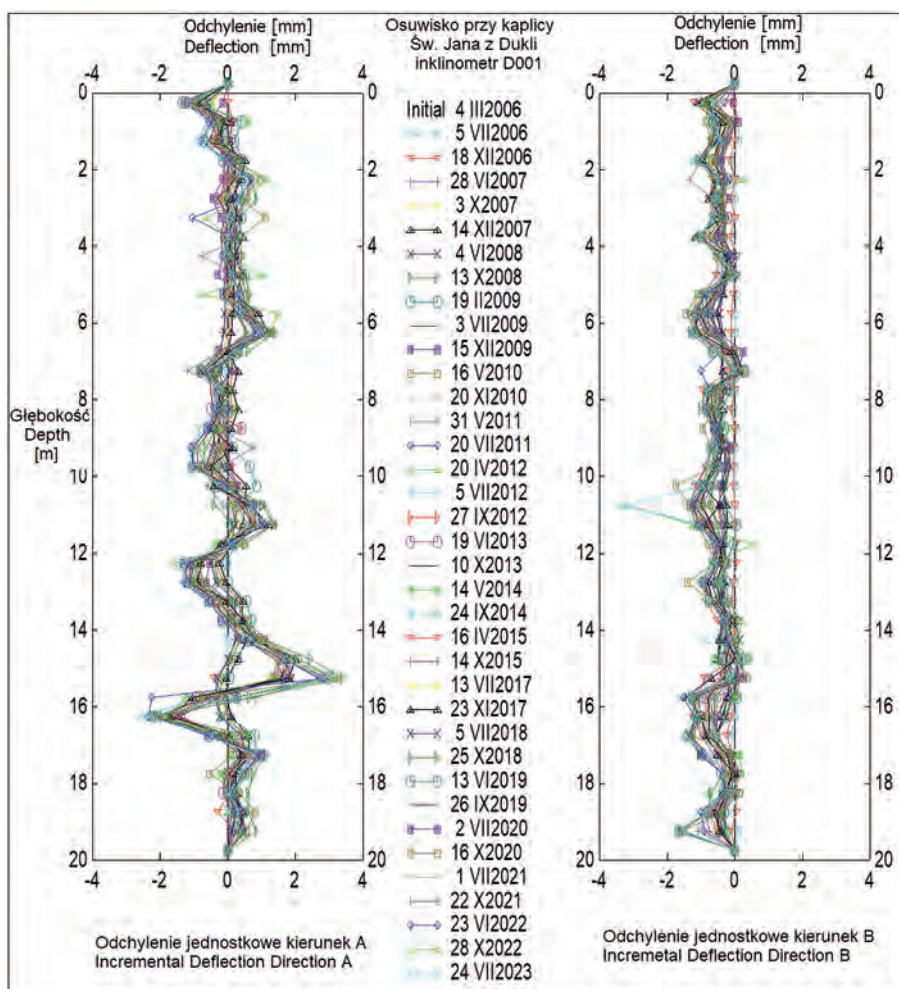
Fig. 9. Inclinometer probe, schematic of measurement planes A (+), A(-), B(+), B(-)



Ryc. 10. Pomiary monitoringowe: A – widok na wschodni narożnik kaplicy; B – Dom Pielgrzymia

Fig. 10. Monitoring measurements: A – view of the east corner of the chapel; B – Pilgrim House

Pomiary pozwalają stwierdzić, że stabilizacja stoku pod kaplicą św. Jana z Dukli i Domem Pielgrzymia jak dotychczas spełnia swoją rolę i zabezpiecza stok przed znacznymi przemieszczeniami. Okresowo w podłożu gruntowym kaplicy występują jednak naprężenia i niewielkie przemieszczenia. Ilustrują to ryciny 11–12, na których przedstawiono naprężenia ścinające w kierunku A i B. W kierunku nachylenia stoku (+) A największe przemieszczenia występowały w okresie zaraz po instalacji inklinometru w lecie 2006 r., gdy przemieszczenia wynosiły od (+) 0,4 mm/dzień do (-) 0,4 mm/dzień. Zwiększone wielkości przemieszczeń występowały także jesienią 2008 r. (+) 0,3 mm/dzień, wiosną i latem 2010 r. do (+) 0,2 mm/dzień, jesienią 2019 do (+) 0,2 mm/dzień. Jesienią 2021 wynosiły one do (+) 0,1 mm/dzień. W kierunku poprzecznym B, występowały one ku osi osuwiska, miały kierunek (-). Były one rejestrowane



Ryc. 11. Pomiar inklinometryczny D0001, jednostkowe wielkości przemieszczeń

Fig. 11. Inclinometer measurement D0001, incremental displacement quantities



w analogicznych okresach czasu jak w kierunku A zgodnym z nachyleniem stoku były jednak o około połowę mniejsze. Największe naprężenia ścinające, wyrażane jako procent całkowitych naprężeń ścinających w podłożu na dzień w kierunkach A i B (ryc. 12). Wskazują one na analogiczne okresy zwiększonych naprężeń ścinających osiągających od maksymalnie (+) 0,002% / dzień do (-) 0,002% / na dzień w okresie po instalacji systemu monitoringu w 2006 r. i podobne jak przemieszczenia w latach: 2008, 2010, 2019 i 2021. Z wykresów przemieszczeń i naprężeń ścinających (ryc. 11–12) widać, że największe zmiany naprężeń i zmienne przemieszczenia w podłożu występowały przez pierwsze pięć lat po zabezpieczeniu do 2011 r. Dotychczas wykonane pomiary potwierdziły fakt, że prace stabilizacyjne obniżyły ryzyko osuwiskowe w rejonie kaplicy, jednak

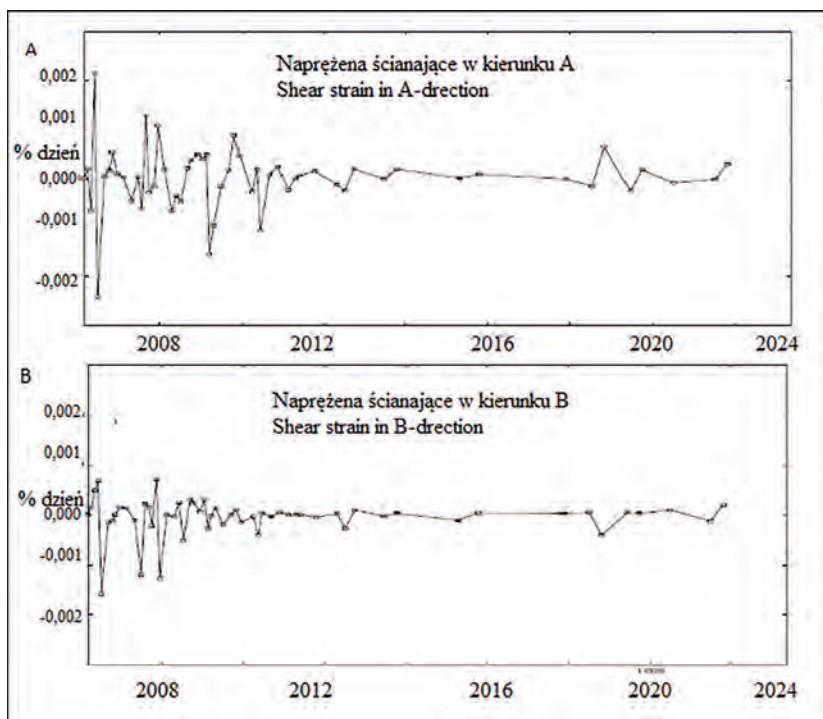
wskazują, że w podłożu wciąż zachodzą kilkumilimetrowe przemieszczenia wgłębne. Ze względu na niekorzystne warunki geotechniczne tego rejonu, potrzebę kontroli prac zabezpieczających i ochrony tego wyjątkowego miejsca dla przyszłych pokoleń, pomiary powinny być kontynuowane także w latach następnych.

Monitoring piezometryczny

Piezometr umożliwiający pomiary głębokości poziomu zwierciadła wód gruntowych znajduje się w odległości 2 m w kierunku wschodnim od punktu pomiarów inklinometrycznych (ryc. 13). Wyniki pomiarów wykonanych w latach 2021 i 2022 wykazały, że zwierciadło wód gruntowych znajdowało się na głębokości 2,5–4,0 m p.p.t. Stosunkowo duża różnica jego głębokości uwarunkowana była w zmienionych ilościach wody wypływającej ze źródła w grocie pod kaplicą.

Obliczenia stateczności stoku

Analizę stateczności wykonano w przekroju poprowadzonym od dzwonnicy w dół stoku, w linii największego spadku powierzchni terenu na całej długości osu-



Ryc. 12. Pomiar inklinometryczny D001 naprężenia ścinające: A – w kier. A; B – w kier. B, 03.2006–10.2021

Fig. 12. Inclinometer measurement of D001 shear stress: A – in dir. A; B – in dir. B, 03.2006–10.2021



Ryc. 13. Pomiar w piezometrze przy kaplicy św. Jana z Dukli, październik 2021

Fig. 13. Measurement at the piezometer at the chapel of St. John of Dukla, October 2021

wiska rozpoznanego w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Malinowski, 2000). Wykorzystano do tego zamieszczony tam przekrój geologiczno-inżynierski 3–3' (lokalizacja na ryc. 7). Do obliczeń przyjęto parametry wytrzymałościowe wprowadzone do analiz stateczności wykonanych w ramach projektu zabezpieczenia przez ITB (wykonane w 2001 r. przez ITB obliczenia stateczności stoku metodą LEM Janbu pod Domem Pielgrzyma, z wydzieleniem dwóch warstw wykazały wskaźnik stateczności $FS = 1,09$). Do celów modelowania numerycznego wydzielono dwie warstwy geologiczno-inżynierskie różniące się parametrami wytrzymałościowymi. Wprowadzoną geometrię zalegania warstw wraz z głębokością zalegania zwierciadła wód gruntowych, co przedstawiono na rycinach 14–15. Do celów obliczeniowych, podobnie jak w analizach wykonywanych przez ITB, uproszczono budowę geologiczno-inżynierską stoku, wprowadzając jedną warstwę koluwiów osuwiskowych oraz jedną warstwę nienaruszonego podłoża skalnego.

Obliczenia wykonano za pomocą programu Flac 7.0 metody różnic skończonych wykorzystującego metodę redukcję wytrzymałości na ścinanie (SSR) dla rejonu bezpośrednio pod dzwonnica, w innym rejonie niż wykonywał je ITB Warszawa w 2001 r. Algorytm programu Flac 7.0 wymagał deklaracji gęstości objętościowej w stanie suchym i po nasyceniu wodą, efektywnych wartości spójności i kąta tarcia wewnętrznego gruntu. Zestawienie oraz parametry wytrzymałościowe wydzielonych warstw przedstawiono w tabeli 2.

Do obliczeń zastosowano model sprężysto-plastyczny gruntu i kryterium zniszczenia Coulomba-Mohra. Metoda SSR dąży do odzwierciedlenia rzeczywistych procesów prowadzących do obniżenia wytrzymałości na ścinanie gruntów i budujących stoki. Analizy stanu granicznego ośrodka gruntowego, z uwzględnieniem przewidywanej głębokości położenia wód gruntowych, umożliwiły oszacowanie wartości parametrów w poszczególnych węzłach modelu. Wartości te były aproksymowane za pomocą inter-

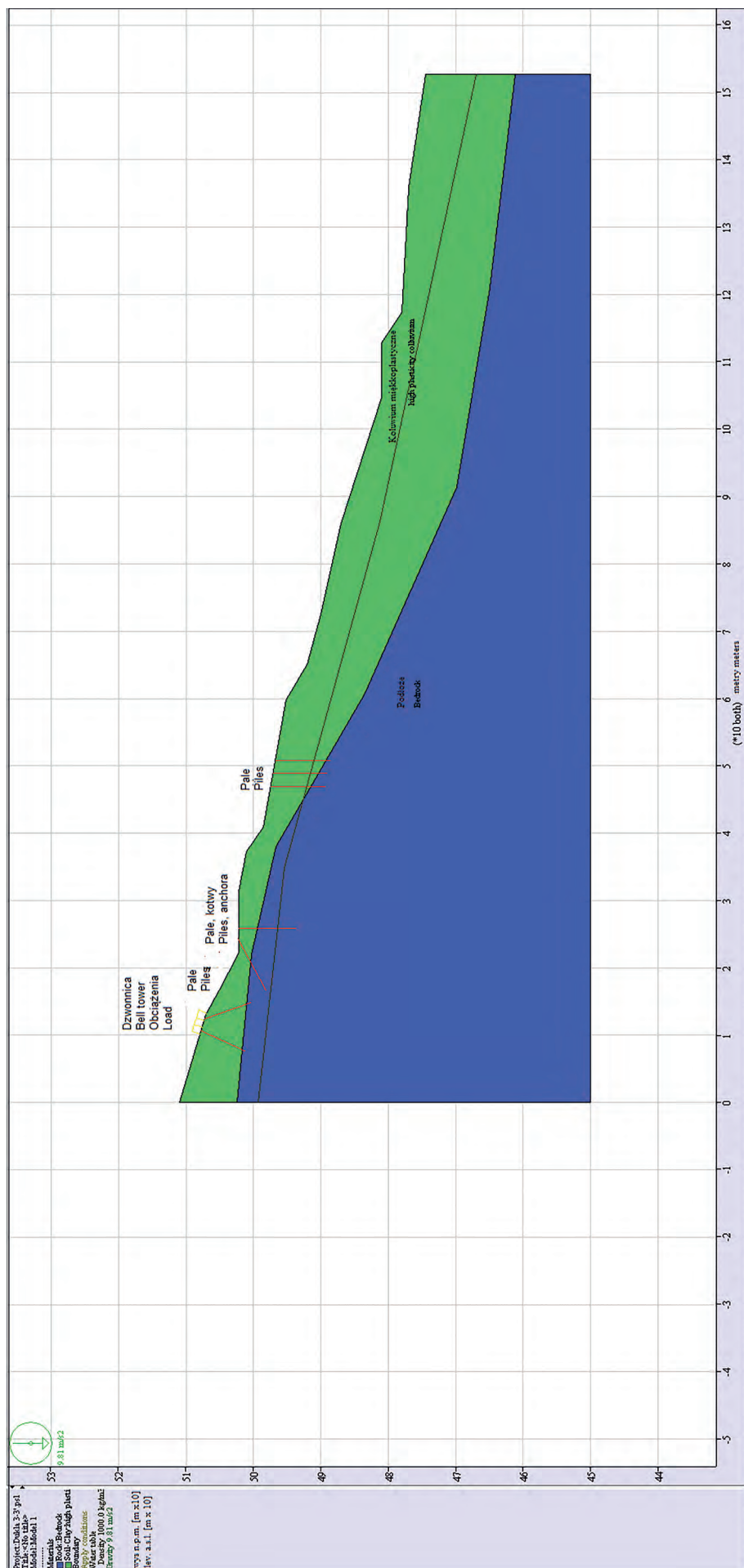
Tab. 2. Przyjęte parametry obliczeniowe (wg parametrów przyjętych przez ITB)

Table 2. Adopted design parameters (according to the parameters adopted by the ITB)

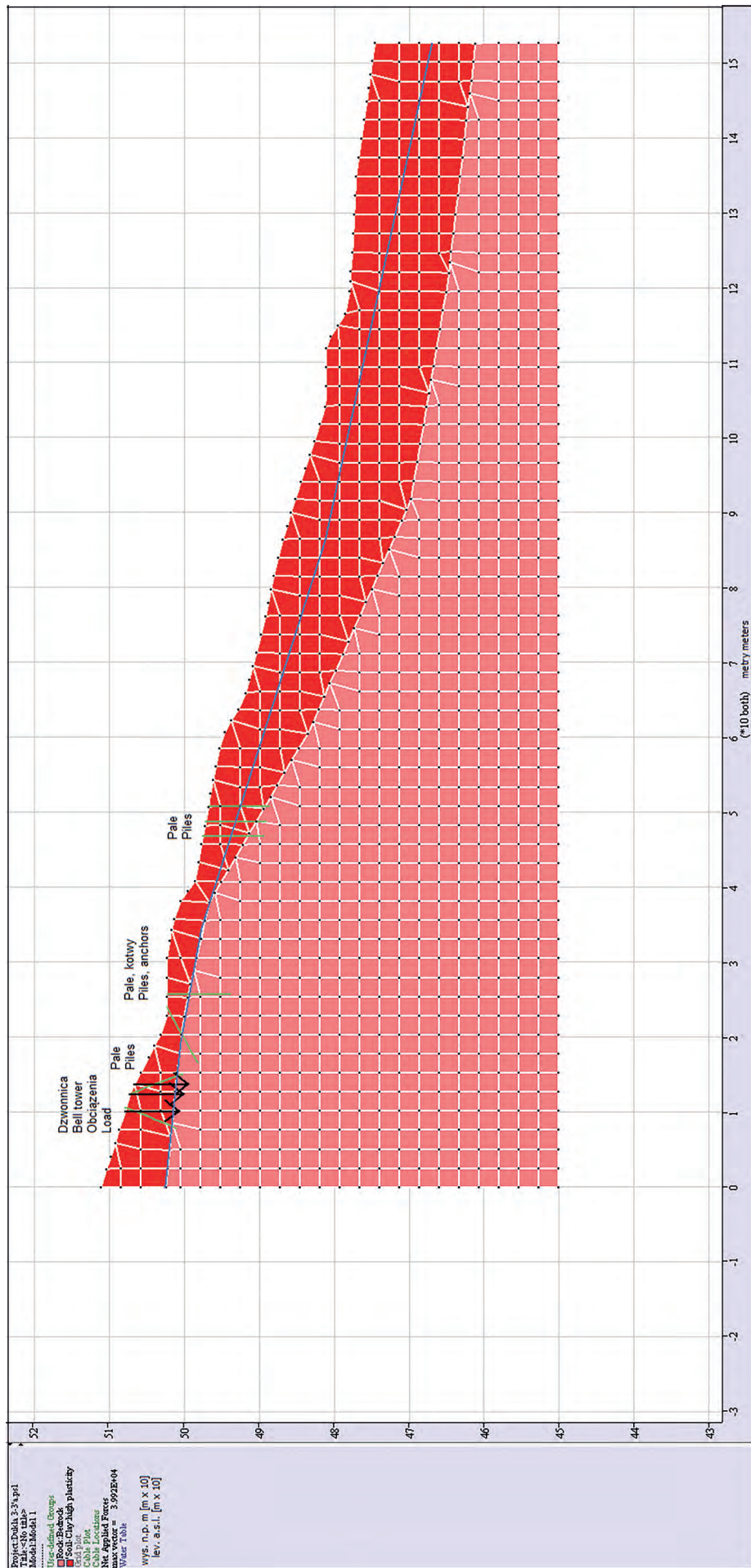
Lp.	Symbol warstwy Layer symbol	Rodzaj gruntów Soil type	ρ [kN/m ³]	C [kPa]	ϕ [o]
1	I	Koluwium ilaste Clayey colluvium	19,0	12,0	8,0
2	II	Podłoże osuwiska Landslide bedrock	21,0	21,0	25,0

polacji Lagrange'a i przedstawione w postaci izoliniowej, jako prędkości odkształcenia stycznego [s] lub prędkości przemieszczeń [m/s]. W wykonanych obliczeniach na prawej i lewej krawędzi modelu unieruchomiono przemieszczenia poziome dopuszczając jedynie swobodny ruch w kierunku pionowym. Natomiast na dolnej krawędzi zablokowano przemieszczenia pionowe dopuszczając ruch w kierunku poziomym. Powierzchnia terenu była powierzchnią swobodną. Wprowadzona gęstość siatki obliczeniowej miała wymiary 25 × 25 cm. Model zawierał przewidywaną głębokość występowania poziomego zwierciadła wód gruntowych, wynikającą z wykonanych wiercen terenowych oraz stabilizację wykonaną wg projektu ITB – trzy rzędy mikropali pionowych (8 m) pod grotą oraz mikropale pionowe (8 m) i ukośne (12 m) przed kaplicą św. Jana z Dukli. Do analizy wprowadzono kotwy lub mikropale ukośne (4 szt.) o długości 6 m pod dzwonnica. Uwzględniono też obciążenie od dzwonnicy i fundamentu (10 kPa). Analizy umożliwiły lokalizację powierzchni granicznej, stref występowania największych odkształceń i prędkości przemieszczeń w obrębie stoku. Otrzymane wyniki, oprócz określenia wskaźnika stateczności stoku, wskazały, gdzie i jak będzie przebiegać powierzchnia poślizgu. Pozwoliło to także na przybliżoną lokalizację stref charakteryzujących się największymi prędkościami przemieszczeń. Przyjęte założenia i wyniki wykonanych obliczeń przedstawiono na rycinach 14–16. Na rycinie 14 przedstawiono model geometryczny przekroju obliczeniowego wraz z zabezpieczeniem i głębokością występowania wód gruntowych, a na rycinie 15 – zastosowaną siatkę obliczeniową. Wyniki analizy przedstawiono na rycinie 16. Wykonana analiza, przy przyjętych archiwalnych parametrach gruntów, wskazuje na bardzo niski wskaźnik stateczności zbocza, wynoszący $FS = 0,78$. Należy jednak zaznaczyć, że dotyczy on terenu osuwiska poniżej wykonanego zabezpieczenia. Program Flac 7.0 jednocześnie wskazuje, że istnieje tam duże prawdopodobieństwo wystąpienia przemieszczeń wgłębnych. Po uwzględnieniu wykonanego zabezpieczenia wskaźnik stateczności FS wzrósł do 1,03 (ryc. 17).

Przyjmuje się, że wartości wskaźnika stateczności, wynoszące powyżej $FS = 1,5$, wskazują na bardzo małe prawdopodobieństwo powstania osuwiska. Możliwość wystąpienia osuwiska jest prawdopodobna przy wskaźnikach stateczności $FS = 1,3–1,5$ natomiast bardzo prawdopodobna, przy FS wynoszącym ok. 1,0–1,3, i pewna, gdy jest równa i poniżej $FS = 1,0$. W rejonie wykonanego zabezpieczenia przy świątyni i w rejonie dzwonnicy program nie wskazuje na powstanie strefy przemieszczeń. Należy tutaj podkreślić, że wykonana analiza stateczności stoku na podstawie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej z 2000 r. i zabezpieczenia z 2004 r. może nie być w pełni miarodajna, gdyż warunki gruntowo-wodne mogły się od tego czasu zmienić. Metoda SSR jest skuteczna pod względem wykrycia najsłabszego ogniwa w analizowanym zboczu, jednak jej wiarygodność zależy od szeregu czynników. Błędy interpretacyjne mogą być różnego pochodzenia. Zazwyczaj są one związane z niepewnością lub błędnymi parametrami wytrzymałościowymi i geometrycznymi modelu. Wprowadzone parametry wytrzymałościowe mają bardzo przybliżony charakter, gdyż nie są na podstawie badań laboratoryjnych, a jedynie na podstawie archiwalnych wiercen, sondowań dynamicznych i tzw. doświadczenia porównywalnego. Wyniki analiz stateczności zależą wprost od wielkości wprowadzonych do obliczeń parametrów wytrzymałościowych i wymagają



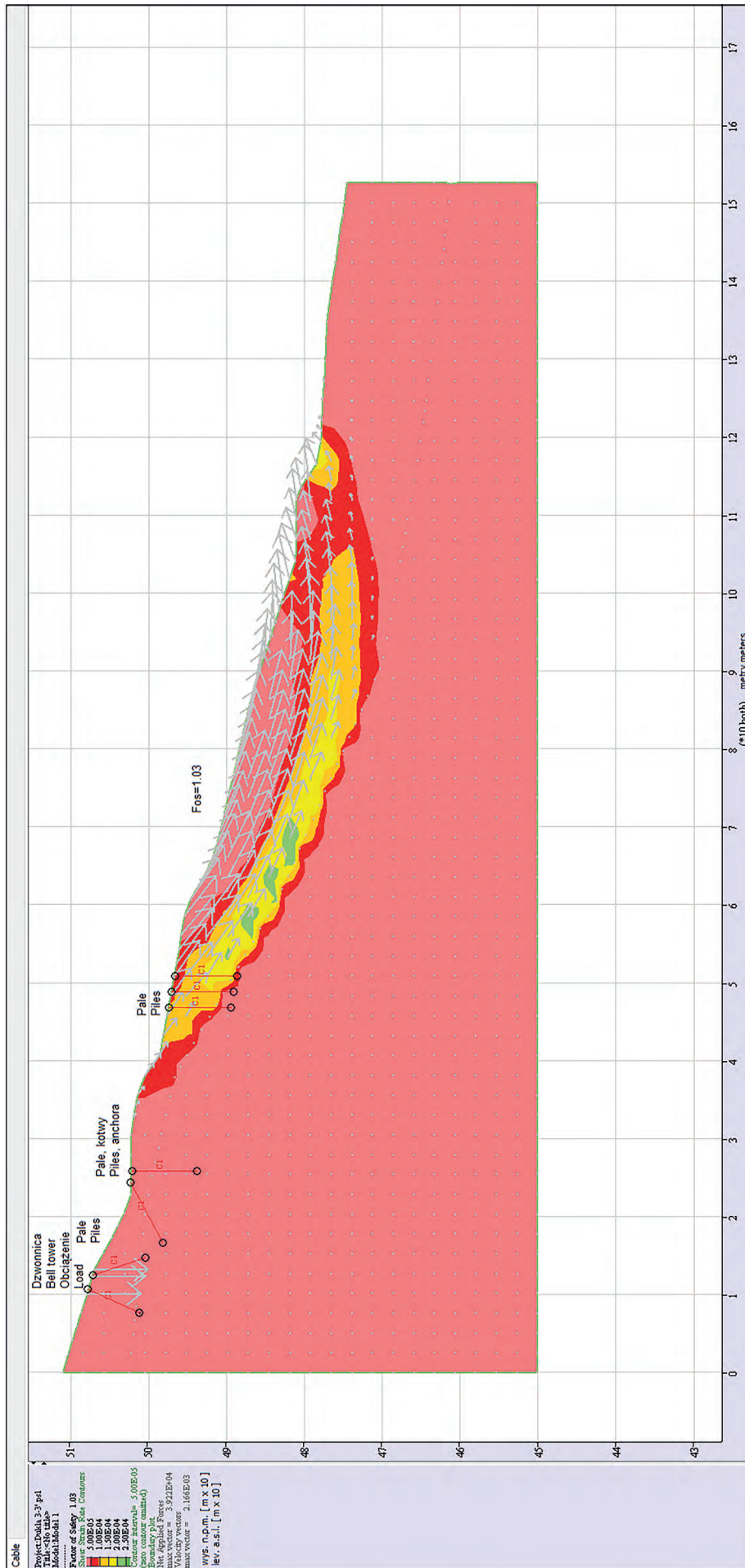
Ryc. 14. Analiza stateczności stoku wraz z dzwonniceą z uwzględnieniem zabezpieczenia stoku, obciążeń statycznych i dynamicznych – model geometryczny
Fig. 14. Stability analysis of the slope with the bell tower taking into account slope protection, static and dynamic loads – geometric model



Ryc. 15. Analiza stateczności stoku wraz z dzwonnica z uwzględnieniem zabezpieczenia stoku, obciążeń statycznych i dynamicznych – siatka obliczeniowa
Fig. 15. Stability analysis of the slope with the bell tower taking into account slope protection, static and dynamic loads – calculation grid



Ryc. 16. Analiza stateczności stoku wraz z dzwonnicyą bez zabezpieczenia stoku Fos = 0,78
 Ryc. 16. Analysis of slope stability with bell tower without slope protection Fos = 0.78



Ryc. 17. Analiza stateczności stoku wraz z dzwonnicy z uwzględnieniem zabezpieczenia, Fos = 1,03
Fig. 17. Stability analysis of the slope with the belfry taking into account protection, Fos = 1.03

uwzględnienia wszystkich czynników zewnętrznych i wewnętrznych wpływających na stateczność stoku.

WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI

Wykonane badania terenowe, analizy numeryczne, pomiary monitoringowe i analiza materiałów archiwalnych wykazały, że w podłożu w pobliżu rejonu kaplicy św. Jana z Dukli występowały w przeszłości aktywne procesy osuwiskowe, które w wyniku zaprojektowanych przez zespół ITB prac stabilizacyjnych zrealizowanych w 2006 r. udało się powstrzymać. Świadczą o tym 64 serie wykonywanych przez ponad 17 lat kontrolnych pomiarów inklinometrycznych, które wykazały jednostkowe przemieszczenia maksymalnie od 1,5–3,0 mm (na głębokościach: 6, 11, 15 i 19,5 m).

Badania wykonane przez autora pozwoliły na potwierdzenie dotychczasowej skuteczności stabilizacji oraz na przeprowadzenie remontu i modernizacji historycznej dzwonnicy przy kaplicy św. Jana z Dukli w związku z odnalezieniem, po 80 latach, historycznego dzwonu z 1938 r. Analizy numeryczne w rejonie dzwonnicy, w przekroju bez zabezpieczenia, wykazały, że powstanie osuwiska pod kaplicą było pewne ($FS = 0,78$). Badania po zabezpieczeniu dzwonnicy, przy zastosowaniu fundamentu na palach (do głębokości 6 m) oraz wprowadzeniu obecnego zabezpieczenia kaplicy, pokazały, że wskaźnik stateczności wzrósł do $FS = 1,03$ (przyjmuje się, że dla zabezpieczeń powinien on wyność min 1,3–1,5). Największe możliwe przemieszczenia stwierdzono poniżej wykonanych zabezpieczeń, natomiast małe w rejonie kaplicy i projektowanej dzwonnicy. Wyniki analiz mają jednak charakter przybliżony. Zależą one wprost od reprezentatywności wprowadzonych do obliczeń warstw, parametrów wytrzymałościowych wyników badań podłoża, archiwalnych wyników badań laboratoryjnych, wielkości opadów atmosferycznych, występujących ciśnień sphywowych, ciśnienia porowego w gruncie, powierzchni nieciągłości mogących sprzyjać aktywacji ruchów osuwiskowych. Do obliczeń nie wprowadzono też obciążeń pochodzących bezpośrednio od kaplicy.

W świetle przeprowadzonego rozpoznania terenowego, analizy dokumentacji i pomiarów terenowych stwierdzono,

że remont i modernizacja dzwonnicy będzie możliwa jednak pod pewnymi warunkami, wynikającymi ze specyfiki badanego terenu i jego właściwości geologiczno-inżynierskich. Analiza materiałów archiwalnych wykazała, że strop zwężonych piaskowców, pomiędzy dzwonnica a kaplicą św. Jana z Dukli, znajdował się na głębokości 2 m p.p.t. Stwierdzono, że bezpieczne posadowienie podpór konstrukcji dzwonnicy w warstwie piaskowców powinno wynosić ok. 2 m, przy całkowitej głębokości pali ok. 6–7 m. Zalecono żeby fundament pod nową dzwonnica odpowiednio zazbroić. Górna powierzchnia fundamentu została pochyłona w stronę stoku, aby umożliwić spływ wód opadowych (różnica wysokości ok. 5–10 cm). Nową konstrukcję i fundament dzwonnicy wykonano – zgodnie z zaleceniem – z materiału, który nie powoduje nadmiernego obciążenia. Przestrzegano też przed podcinaniem stoku pod dzwonnica głębokimi pracami ziemnymi oraz wycinaniem rosnących tam drzew, usuwaniem ich korzeni, wierceniem głębokich otworów przy kaplicy i dzwonnicy i nadmiernego obciążania stoku. Zalecono, żeby prace budowlane zaplanować i przeprowadzić możliwie szybko w suchym okresie, bez dużych opadów atmosferycznych, najlepiej latem. Wskazano także na konieczność zabezpieczenia stoku pod dzwonnica, od strony kaplicy św. Jana z Dukli, przed procesami wymywania gruntu i erozji. Stok w najbardziej nachylonej części pokryto geowłókniną i podparto płytami z kamienia o zredukowanym ciężarze. W innych miejscach zastosowano geowłókninę i obsiew trawą. Udrożniono także otwory w murze oporowym nad kościołem i wykonano odprowadzenie wody spod muru do systemu odwodnienia osuwiska. Zalecono, aby stok ponad dzwonnica zabezpieczyć przed infiltracją wód opadowych, a na fundamencie dzwonnicy umieścić dwa repery geodezyjne.

Wskazano, że stateczność dzwonnicy po remoncie i instalacji nowych dzwonów i systemu ich wyzwalania, należy monitorować geodezyjnie przez co najmniej 3 lata (łącznie 6 pomiarów reperów na fundamencie, co roku wiosną i jesienią). Zalecono także kontynuację pomiarów inklinometrycznych i piezometrycznych przy kaplicy. Ze względu na fakt, że teren przy kaplicy znajduje się w rejonie osuwiskowym, a prace zabezpieczające osuwisko były finansowane w ramach projektu SOPO (nadzorowanego przez PIG-PIB),



Ryc. 18. Dzwonnica przy kaplicy św. Jana z Dukli po renowacji z kompletem dzwonów; **A** – dzwony z nowym systemem uruchamiania; **B** – widok z dołu skarpy; **C** – widok boczny na dzwonnica i kaplicę

Fig. 18. The bell tower at the chapel of St. John of Dukla after restoration with a complete set of bells; **A** – the bell tower with a new actuation system; **B** – view from the bottom of the slope; **C** – side view of the bell tower and chapel

zalecono, żeby przed zgłoszeniem wykonywania remontu w Urzędzie Gminy Dukla i uzyskaniem pozwolenia na budowę, otrzymać opinię z PIG-PIB. Uzyskana przez klasztor Bernardynów opinia zalecała, w celu budowy nowej dzwonnicy, wykonanie dodatkowego otworu pełnordzeniowego do osiągnięcia zwięzłego podłoża pod nowo zaprojektowaną dzwonicą. Z uwagi na wysoki koszt budowy nowej dzwonnicy i odlania brakującego trzeciego dzwonu klasztor zdecydował się na gruntowny remont starej historycznej dzwonnicy. Remont, z wykorzystaniem uwag przedstawionych przez autora, obejmował wykonanie fundamentu dzwonnicy z dodatkowym zbrojeniem (remont starego fundamentu), wzmocnienie, odrdzewienie i malowanie konstrukcji podpór, wykonanie nowego pokrycia dachu, wykonanie odwodnienia terenu w pobliżu dzwonnicy, udrożnienie otworów w murze oporowym ponad kaplicą.

Wykonane badania umożliwiły zabezpieczenie cennych obiektów dziedzictwa narodowego, w tym zachowanie i modernizację historycznej dzwonnicy z odnalezionym po 80 latach dzwonem, który umieszczony i poświęcony został na wyremontowanej dzwonnicy 9 lipca 2022 r. (ryc. 18). Wykonane do chwili obecnej pomiary wskazują, że przyjęte rozwiązania okazały się jak dotąd skuteczne i przeciwdziałają zagrożeniom osuwiskowym – wymaga to jednak dalszej kontroli.

Autor w tym miejscu pragnie podziękować Panu dr. Wojciechowi Rączkowskiemu z Oddziału Karpackiego PIG-PIB, za zainteresowanie problemami stateczności stoku przy kaplicy św. Jana z Dukli, Panu prof. Andrzejowi Soleckiemu z Instytutu Nauk Geologicznych UW, za prośbę o pomoc przy remoncie dzwonnicy, Panu Lesławowi Wilkowi z Muzeum Pól Bitewnych w Krośnie, który odnalazł zaginiony dzwon oraz pomógł w renowacji dzwonnicy oraz klasztorowi Bernardynów z Dukli, za wsparcie w realizowanych pracach.

LITERATURA

- BOBER L., THIEL K. 1980 – Badania stateczności zbocza osuwiskowego w Lipownicy koło Dukli. *Biul. Inst. Geol.*, 324: 239–282.
- BIEGUN M. 2001 – Etap I–III, Tom III konstrukcja zabezpieczająca przed osuwiskiem, Kościół w Pustelni Św. Jana z Dukli. *Albis Biuro Budowlane Biegun i Szatkowski, Bielsko-Biała*.
- BIEGUN M. 2003 – Projekt koncepcyjny zabezpieczenia osuwiska przy pustelni Św. Jana z Dukli – teren przyległy na północny wschód od groty. *Albis Biuro Budowlane Biegun i Szatkowski, Bielsko-Biała*.
- JANKOWSKI L., KOPCIEWSKI R. 2006 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:5000, arkusz Nowy Żmigród Dukla 1039, M-34-92-A. *Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa*.
- JANKOWSKI L., KOPCIEWSKI R. 2014 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, arkusz Nowy Żmigród (Dukla) 1039. *Ministerstwo Środowiska, Warszawa*.
- KONDRACKI J. 2014 – *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- MALINOWSKI W. 2000 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska określająca sposób zabezpieczenia przed procesami osuwiskowymi terenu Pustelni Św. Jana z Dukli na Puszczu, miejsc. Trzciana, Gm. Dukla, pow. krośnieński, woj. podkarpackie. *Usługi geologiczne Usługi Inwestycyjne Golin, Krosno*.
- RĄCZKOWSKI W., MROZEK T. 2002 – Activating of Landsliding in the Polish flysch Carpathians by the end of the 20th century. *Studia Geomorph. Carp-Balcan*. 36: 91–111.
- STARKEL L., KOSTRZEWSKI A., KOTARBA A., KRZEMIEN K. 2008 – Współczesne przemiany rzeźby Polski. *IGiP UJ, IGiPZ PAN, Kraków*.
- WOJTOWICZ J., FREY J. 2001 – Projekt konstrukcji Tom II. Zabezpieczenie osuwiska rozbudowa groty na terenie Pustelni Św. Jana z Dukli w Trzcianie, Rzeszów: 1–9.
- WYSOKIŃSKI L. 2002 – Raport oddziaływania na środowisko, zabezpieczenie przed osuwiskami ziemnymi Sanktuarium Św. Jana z Dukli w m. Trzciana – etap II".
- WYSOKIŃSKI L., KOTLIICKI W., ŚWIECA M. 2003 – Projekt budowlany zabezpieczenia osuwiska przy kościele pustelni Św. Jana z Dukli na górze Zaśpita. *Archiwum Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa [nr arch. NG-731/P/03: 1–11]*.

Praca wpłynęła do redakcji 9.05.2024 r.
Akceptowano do druku 30.12.2024 r.



Sponsorzy 8. Sympozjum *Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce*. Fot. M. Kułak