

Osuwisko na stoku góry Palenica w Szczawnicy (pieniński pas skałkowy) i jego związek z ekstremalnymi opadami w lipcu 1997 r.

Stanisław Rybicki*, Włodzimierz Margielewski**, Andrzej Domagała***

Wskutek ulewnych deszczów, które spowodowały lipcową powódź w 1997 r., na NE stoku Palenicy nad Szczawnicą, powstało osuwisko, które zniszczyło znaczny fragment trasy narciarskiej i zagroziło podstawie słupa wyciągu krzeselkowego na Palenicę. Objęło ono swym zasięgiem stosunkowo wąską wychodnię łupków formacji łupków z Malinowej należących tu do jednostki Grajcarka. Osuwisko o typie subsekwentnym, powstawało w kilku etapach i charakteryzowało się detruzywnym rozwojem. Płytki zsuw o długości 320 m i charakterze rynnowym, objął zasięgiem warstwę zwietrzliny, lokalnie sięgnął podłoża, w dolnych zaś partiach, masy koluwalne stosunkowo niewielkiej miąższości, nasunęły się na powierzchnię trasy zjazdowej. Powyżej osuwiska powstały liczne spekania. Główną przyczyną powstania i rozwoju formy było gwałtowne przeciążenie wodą opadową i częściowe upłynnienie mas zwietrzlinowych, rozwojowi zaś ruchów sprzyjały zarówno utwory podłoża podatne na osuwanie, jak również antropogeniczne wylesienie wychodni łupków, w trakcie budowy trasy.

Słowa kluczowe: osuwisko zwietrzelinowe, etapy rozwoju formy, geologiczne i klimatyczne uwarunkowania ruchów masowych, formacja łupków z Malinowej, jednostka Grajcarka, pieniński pas skałkowy

Stanisław Rybicki, Włodzimierz Margielewski & Andrzej Domagała — **Landslide on Palenica Mt near Szczawnica (Pieniny Klippen Belt), and their connection with extreme rains in July 1997.** Prz. Geol. 46: 1162–1170.

Summary. The landslide on NE slope of the Palenica Mt near Szczawnica, was created in effect of extreme, torrential rains in July 1997 (which caused flood in the Carpathians). The landslide destroyed ski trail and endangered for support of the chair-lift line to Palenica Mt. The form was developed along the narrow outcrop of the variegated shales of Malinowa Formation (Grajcark Unit), where was situated also large part of the ski-trail. The landslide, 320 m long, represents subsequent and detrusive type. It was initiated on the top part of the ski-trail, and then the movement was developed to lower part of the slope. Shallow and narrow slump modelled mainly in weathered cover of shales and created some systems of niches, colluvial swells and colluvial depressions soon filled by water. In the lower part, the colluvial mass was partly overthrust on the ski-trail. The main reason of the landslide development, was strong rain which saturated the weathering zone. Also geological properties of the bedrock and anthropogenic deforestation of the ski-trail, contributed to formation of the landslide.

Key words: landslide, stages of landslide development, geological and climatic background of mass movements, variegated shale of Malinowa Shale Formation, Grajcark Unit, Pieniny Klippen Belt

W trakcie ulewnych deszczów, z 9–10 lipca, na NE stokach wzgórza Palenica (719 m n.p.m.) nad Szczawnicą, zaczęło tworzyć się osuwisko. Odspojony wskutek przeciążenia wodą materiał zwietrzelinowy, został w kilku etapach grawitacyjnie przemieszczony w dół stoku, niszcząc znaczną część trasy narciarskiej na Palenicę, wraz z infrastrukturą instalacyjną przeprowadzoną pod powierzchnią trasy. Przyniszowe partie formy wraz z systemem szczelin tensyjnych powyżej skarp, sięgnęły podstawy podpory nr 9 wyciągu krzeselkowego na Palenicę, stwarzając realne zagrożenie dla bezpieczeństwa funkcjonowania kolejki. Osuwisko charakteryzujące się etapowym rozwojem, było jedną z wielu form w Karpatach, powstałych w 1997 r. w efekcie gwałtownych i długotrwałych opadów deszczu. Tego typu zjawiska wywołane intensywnymi opadami, były w Karpatach zjawiskiem powszechnym, ich szczególną zaś intensyfikację rejestrowano po ulewach w latach 1913 (Sawicki, 1917), 1934 (Stecki, 1934; Klimaszewski, 1935), 1958–1960 (Wrzosek-Matł, 1961; Gerlach, 1962; Ziętara, 1964, 1968; Jakubowski, 1968), czy 1972–1974 (Gil, 1994, 1997). Jednakże osuwisko na Palenicę, jako jedno z niewielu w Karpatach ma zarówno szczegółowo udokumentowane etapy i tempo przemieszczania mas koluwalnych rejestrowane w trakcie pomiarów ruchu formy (Zachwieja, 1997), jak również dokumentację geologiczną-

inżynierską podłoża, związaną z wcześniejszym projektem trasy zjazdowej (Dokumentacja..., 1974). Wyniki tych rejestracji oraz zdjęcie geomorfologiczne formy wykonane po względnym ustabilizowaniu osuwiska w dn. 30–31.07.1997 r., pozwoliły na przeprowadzenie analizy wpływu budowy geologicznej, morfologii i uwarunkowań hydrometeorologicznych, na dynamikę ruchu mas osuwiskowych i finalny kształt formy (Rybicki i in., 1997). Artykuł stanowi przyczynek do poznania genezy oraz mechanizmu powstawania i rozwoju tego typu form, które ze względu na powszechność i częstą odnawialność w Karpatach fliszowych, stwarzają ciągłe zagrożenie dla infrastruktury gospodarczej.

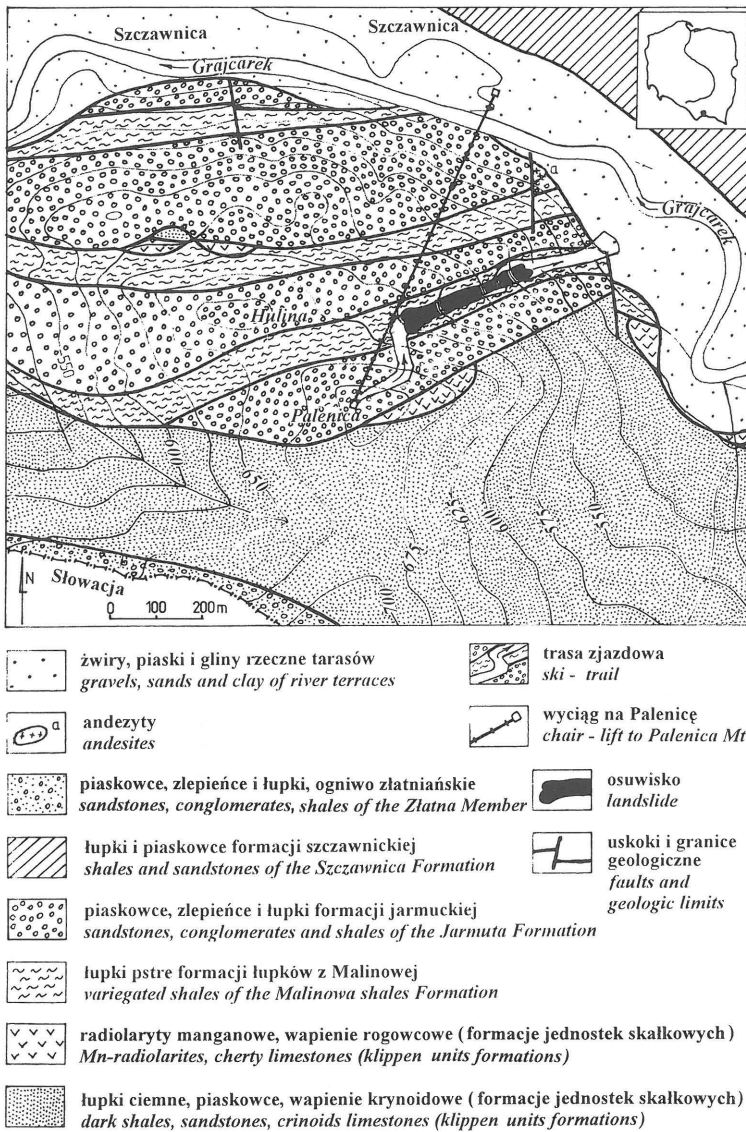
Zarys budowy geologicznej rejonu Palenicy

Wzgórze Palenica nad Szczawnicą (719 m n.p.m.) znajduje się w strefie występowania pienińskiego pasa skałkowego. Południowe skłony wzgórza zostały założone w obrębie utworów budujących jednostki skałkowe pienińskiego pasa skałkowego (głównie jednostki: braniska i czertezicka, lokalnie pienińska i czorsztyńska — Kulka i in., 1991; Birkenmajer, 1977, 1992), reprezentowanych głównie przez ciemne łupki i piaskowce, miejscami wapienie krynoidowe (jura środkowa), lokalnie z wystąpieniami radiolarytów i wapieni rogowcowych bajosu-barremu (jura środkowa i kreda dolna) (ryc. 1) (Kulka i in., 1987, 1991). Miejscami występują tu również płaty piaskowców, zlepieńców i łupków ogniwa złatniańskiego, należącego do paleogenu magurskiego (por. Birkenmajer & Oszczypko,

* Katedra Geologii Inżynierskiej i Geotechniki Środowiska AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Instytut Ochrony Przyrody PAN, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków

***Hydrotrest S. A., ul. Kunickiego 5, 30-154 Kraków



Ryc. 1. Mapa geologiczna regionu Palenicy, wraz z lokalizacją trasy zjazdowej i osuwiska. Granice geologiczne wg Kulki i in., 1987. Sformalizowane wydzielienia litostratygraficzne płaszczowiny magurskiej i jednostki Grajcarek, wg Birkenmajera & Oszczycki, 1989, sformalizowane wydzielienia litostratygraficzne jednostek skałkowych — patrz Birkenmajer, 1977

Fig. 1. Geological map of the Palenica Mt vicinity, with location of the ski-trail and the landslide. Geological limits after Kulka et al. (1987). Lithostratigraphy of Magura and Grajcarek Units, after Birkenmajer & Oszczycko (1989), lithostratigraphy of Klippen Units — vide Birkenmajer (1977)

1989). Północne skłony wzgórz powstały w obrębie utworów jednostki Grajcarek, składających się z silnie sfałdowanych i złuskowanych tektonicznie osadów jurajskich, kredowych i paleoceńskich (Birkenmajer, 1992). Na analizowanym obszarze, na powierzchni odsłaniają się głównie utwory dwóch formacji górnokredowych jednostki Grajcarek: pstre, wiśniowe i zielone łupki przeławiczone lokalnie cienkoławicowymi piaskowcami należące do formacji łupków z Malinowej (cenoman–górny kampan) oraz gruboławicowe piaskowce i zlepienie wapniste i lokalnie łupki formacji jarmuckiej (górny kampan–mastrycht) (por. Birkenmajer, 1977; Kulka i in., 1987; Birkenmajer & Oszczycko, 1989). W obrębie północnych skłonów Palenicy, utwory tych dwóch formacji tworzą pasy naprzemianległych wychodni o przebiegu w przybliżeniu równoleżnikowym (Kulka i in., 1987) (ryc. 1). Szczytowe partie wzgórz Palenica i Hulina powstałe w odpornych utworach formacji jarmuc-

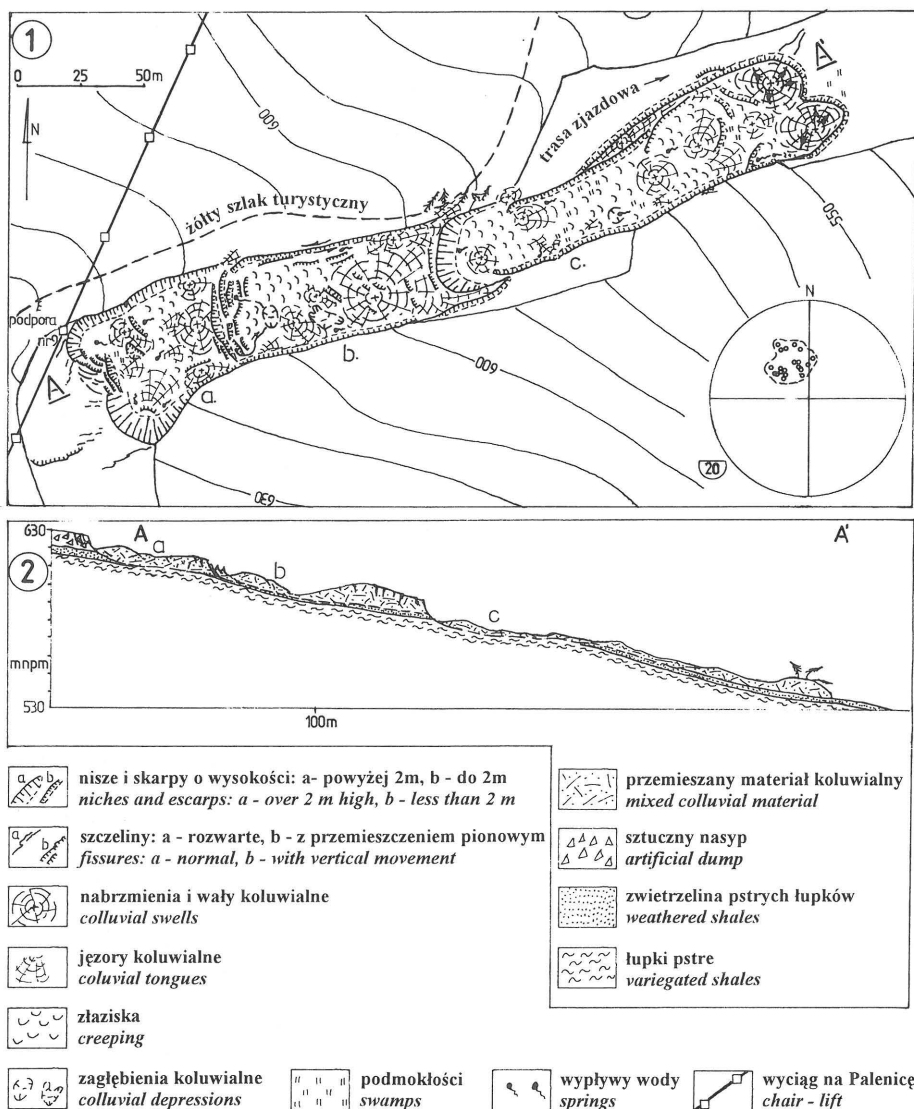
kiej, rozdziela wąski pas wychodni podatnych łupków pstrych formacji łupków z Malinowej, w obrębie których ukształtowała się również przełącz rozdzielająca obydwie wzgórza. W strefie tego pasa wychodni tworzących wklęsłą formę morfologiczną o charakterze płytkiej rynny, przebiega znaczna część trasy zjazdowej, która została tu zniszczona osuwiskiem powstałym po ulewach w lipcu 1997 r. (ryc. 1).

Morfologia osuwiska

Osuwisko powstało na wylesionym fragmencie NE stoku góry Palenica, po którym przeprowadzona jest trasa narciarska. Teren naruszony osuwiskiem zajmował całą szerokość trasy zjazdowej na długości ok. 320 m i był ograniczony brzegami trasy, szerokość zaś osuwiska wahała się od ok. 30 m do 50 m (ryc. 7). Zważywszy na fakt, że całkowita długość trasy narciarskiej wynosi 730 m, osuwiskiem objęte było 45% jej długości. Całkowita powierzchnia osuwiska wynosiła ok. 1,3 ha.

Osuwisko miało charakter wąskiego i długiego zsuwu lokalnie o charakterze rynnowym, formowanego w kilku etapach. W jego obrębie można było wydzielić trzy strefy oddzielone wyraźnymi niszami: strefę inicjalną zsuwu, strefę różnicowania koluwium oraz strefę najmłodszych ruchów osuwiskowych (ryc. 2.1, a–c). Każda ze stref osuwiskowych wykształciła obszar oderwania mas koluwalnych (nisze), strefę ich transportu ograniczoną skarpami bocznymi oraz obszar nasunięcia jezora koluwalnego na przedpole (obszar akumulacji).

W górnych partiach osuwiska powstał zespół nisz związany z inicjalnym stadium rozwoju formy (ryc. 2.1a). Tworzyły go dwie amfiteatralne nisze obcięte skarpą o przebiegu liniowym. Nisza najbardziej wysunięta w kierunku południowym, była największą w zespole, miała kolisty przebieg, jej wysokość zaś do podstawy wynosiła ok. 10 m. Materiał sukcesywnie odpajany w jej górnych partiach, utworzył u jej podnóża stożki usypiskowe. Pojawiające się ponad jej górną granicą liniśnie rozwinięte szczeliny (poprzeczne do trasy zjazdowej) wskazywały na możliwość jej propagacji w kierunku zachodnim. W obrębie nisz odśladniały się brunatne i żółtobrunatne utwory piaskowców z fragmentami piaskowców (materiał nasypowy) lokalnie zaś, w formie niewielkich skupień, pojawiały się wiśniowa zwietrzelnina łupków pstrych. Nisza obramująca osuwisko od północnego zachodu była mniejsza, miała wysokość 3–3,5 m i stanowiła najbardziej ku zachodowi wysunięty element osuwiska. Stworzyła ona bezpośrednie zagrożenie dla podpory kolejki linowej na Palenicy (stopa fundamentowa podpory nr 9 znajdowała się zaledwie 1,7 m od górnej krawędzi skarpy). Od północy jej obramowanie było wyraźne i kontynuowało się jako północna krawędź zsuwu, południowe zaś zamknięcie nisz stanowiło wiele kolistych ułożonych zerw zwietrzelinowych, mających charakter stopni: występujące ponad nimi szczeliny o przebiegu amfiteatralnym świadczyły o przesuwaniu zamknięcia nisz w kierunku południowym (ryc. 2.1a). W obrębie skarpy odśladniała się żółtobrunatna glina z rumoszem piaskowcowym oraz (w niższych partiach) liczniejsze



Ryc. 2. Plan osuwiska na NE skłonie Palenicy (1), wraz z hipotetycznym przekrojem przez strefę (2), stan na 30–31 lipiec 1997r. Miąższość koluwiów została przewyższona. Diagram punktowy prezentuje położenie warstw formacji jarmuckiej, projekcja równopowierzchniowa normalnych na dolną półkulę

Fig. 2. A plan of the landslide on the NE slope of Palenica Mt (A), with the hypothetical cross-section (B), the plan was made on 30–31 July 1997. The thickness of colluvium was increased. Below — points diagram of attitude of the Jarmuta Formation beds, projection of normal on over hemisphere

wystąpienia wiśniowej zwietrzeliny łupków z Malinowej. Obydwie nisze o kolistym zarysie były obcięte prostolinią skarpą o wysokości ok. 4 m (ryc. 2.1a). W jej obrębie oraz w strefie rozwartych szczelin dylatacyjnych ponad jej górną krawędzią, w żółtobrunatnych utworach piaszczysto-gliniastych tkwiły bloki piaskowca o średnicy 0,5 m (utwory nasypowe), lokalnie zaś pojawiająca się wiśniowa zwietrzelina, wskazywała na występowanie w podłożu pstrych łupków z Malinowej. U podnóża tej niszy powstało zagłębienie obramowane nabrzmieniami. Obszar osuwiska inicjalnego charakteryzował się pofałdowaną powierzchnią: liczne nabrzmienia miały tu często darniową pokrywę, porożrywaną szczelinami. Północną krawędź tej części osuwiska tworzyła wyraźna skarpa o wysokości 3–3,5 m, w obrębie której (zwłaszcza w dolnych partiach) odsłania się zwietrzelina łupkowa. U wylotu rynny powstała u podnóża tej skarpy, widoczny był niewielki jezior koluwalny nasunięty na stok. Południową granicę osuwiska stanowiły w górnych partiach niewielkie

skarpy (ok. 30 cm wysokości) oraz wydłużony wał koluwalny nasunięty tu na powierzchnię trasy zjazdowej. Szerokość tej strefy osuwiskowej wynosiła ok. 48 m.

Druga strefa osuwiska utworzyła się w efekcie wtórnego różnicowania koluwium (ryc. 2.1b). Rozpocznęła ją zespół prostoliniowych skarp o wysokości 2–3,5 m, występujących lokalnie w układzie schodowym (ryc. 2.1b; ryc. 8). Na ich przedpolu utworzyły się charakterystyczne piramidki ziemne wysokości do 1 m (ryc. 2.2b). Północną krawędź tej strefy osuwiska stanowiła w górnych partiach niewielka skarpa (0,5 m wysokości), przechodząca niżej w wydłużoną szczelinę (ryc. 2.2b) o charakterze ścięciowym, powstała w efekcie oddziaływania mas koluwalnych i podłoża. Południową granicę tworzyła skarpa o wysokości około 1 m założona w obrębie wiśniowej zwietrzeliny łupkowej, lokalnie zaś w obrębie tej krawędzi występował pas wyciętej plastycznej zwietrzliny. Koluwium tej strefy charakteryzowało się urozmaiconą rzeźbą (ryc. 2.2b). Występowały tutaj dwa zagłębienia obramowane wałami i nabrzmieniami koluwalnymi. U czoła tych partii zsuwu powstało rozległe nabrzmienie o wysokości względnej 8 m, o powierzchni zadarnionej i porożrywanej licznymi szczelinami (ryc. 2.1b). W kierunku SE, koluwium tej części osuwiska zostało nasunięte na nienaruszoną tutaj, płaską powierzchnię trasy narciarskiej (miąższość nasuniętych mas koluwalnych wynosi tu ok. 1,5 m) (ryc. 2.1b). Podobne częściowe wypchnięcie jezora koluwalnego na stok, nastąpiło również u wylotu północnej krawędzi.

Rozległe nabrzmienie koluwalne zostało rozcięte wysoką (8

m) stromą skarpą rozpoczynającą kolejną strefę osuwiskową związaną z najmłodszym epizodem ruchów (ryc. 2.1c). W obrębie niszy mającej tu lokalnie linijny przebieg, odsłaniała się zwietrzelina łupków wiśniowych, żółtobrazowa zwietrzelina piaskowców z licznymi fragmentami piaskowców (o średnicy 20–30 cm) oraz ciemnobrunatne utwory gliniasto-piaszczyste. U podnóża niszy powstały niewielkie nabrzmienia, transportowany zaś materiał koluwalny, w górnych partiach tej strefy wyłobił wyraźną rynną szerokości ok. 35 m. Była ona tutaj wycięta w obrębie trasy zjazdowej tworzącej w tym miejscu zakręt, zaś od południa i północy ograniczały ją skarpy wysokości 1–1,5 m (ryc. 2.1c). W obrębie rynny występowały liczne zląziska, często zawadnione: z tych partii osuwiska została usunięta darni. Rynna kontynuowała się do niewielkiego załomu morfologicznego (załom współczesnej doliny Grajarka), u jej wylotu zaś, poniżej załomu powstał wyraźny jezior osuwiskowy o urozmaiconej rzeźbie, modyfikowanej lokalnymi zsuwami.

Genetyczne uwarunkowania rozwoju formy osuwiskowej

Na powstanie osuwiska na stoku Palenicy złożyło się kilka przyczyn. Niewątpliwie bezpośrednim impulsem do powstania formy były nawałne opady atmosferyczne, powodujące przeciążenie wodą górnych partii stoku, pęcznienie pokrywy zwietrzelinowej oraz jej częściowe upłynnienie. Istotną rolę w inicjacji ruchów odegrały również uwarunkowania antropogeniczne, związane z wylesieniem trasy zjazdowej oraz niwelacją terenu w trakcie jej budowy.

Rozwojowi formy wybitnie sprzyjały uwarunkowania litologiczne, związane z występowaniem w podłożu łupków pstrych formacji łupków z Malinowej oraz ich zwietrzelin, szczególnie podatnych na procesy masowe (por. Kulka i in., 1987, 1991).

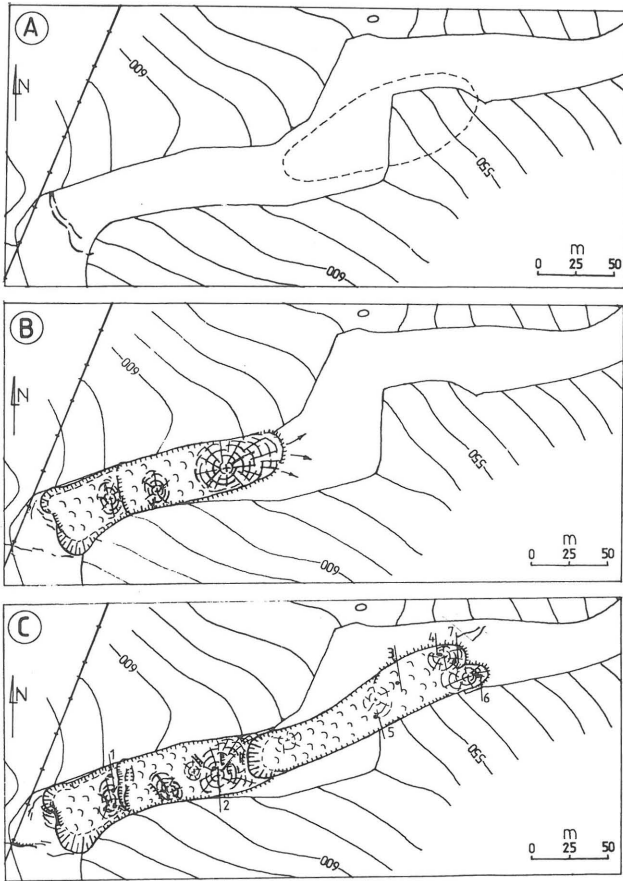
Morfologia trasy zjazdowej

Fragment trasy zjazdowej zniszczony przez osuwisko, został poprowadzony wzdłuż wychodni pstrych łupków z Malinowej. Nachylenie stoku trasy narciarskiej powyżej i poniżej osuwiska waha się od ok. $20,5^\circ$ do 27° , a przeciętnie wynosi ok. 22° . Fragmenty stoku objęte nowym osuwiskiem z 1997 r., były ukształtowane przez stare ruchy osuwiskowe (por. Dokumentacja..., 1974), pierwotne zaś jego nachylenie było zmienne. Począwszy od wysokości podpory nr 9 kolejki krzesełkowej (tj. od zachodniej krawędzi niszy osuwiska — por. ryc. 2.1), stok posiadał dość równomierne nachylenie ok. $16,5^\circ$ zmniejszające się następnie do ok. 12° . W strefie starego osuwiska zniwelowanego w trakcie budowy trasy (por. ryc. 3A, Dokumentacja..., 1974) stok wyraźnie się wypłaszczył i na długości ok. 50 m posiadał nachylenie ok. 10° . Nachylenie stoku poniżej starego osuwiska ponownie wzrastało do kąta 20° i było stosunkowo równomierne. Rejon stoku poniżej osuwiska z 1997 r. ma nachylenie ok. 22° aż do podstawy zbocza góry Palenica i tarasu potoku Grajcarek.

Geologiczne uwarunkowania rozwoju osuwiska i ich wpływ na charakter formy

Osuwisko wystąpiło w obrębie wąskiego pasa wychodni pstrych łupków formacji łupków z Malinowej, tworzących tu, ze względu na znaczną podatność tych utworów na denudację, wklęsłą formę morfologiczną o charakterze rynny (ryc. 1). Wiśniowa zwietrzelina łupków odślaniała się zarówno powyżej osuwiska, jak i w dolnych partiach trasy zjazdowej, w obrębie zaś samego osuwiska była ona eksponowana w obrębie odśnieżeń koluwium (por. ryc. 8), lokalnie zaś w skarpach (głównie bocznych). Utwory te są szczególnie podatne na osuwanie, o czym świadczą stare osuwiska występujące powyżej młodej formy, a sięgające przełęczy pomiędzy Palenicą i Huliną (Kulka i in., 1987). Występowanie starszych osuwisk było rejestrowane również na obszarze zniszczonym obecnie przez osuwisko (por. Dokumentacja..., 1974).

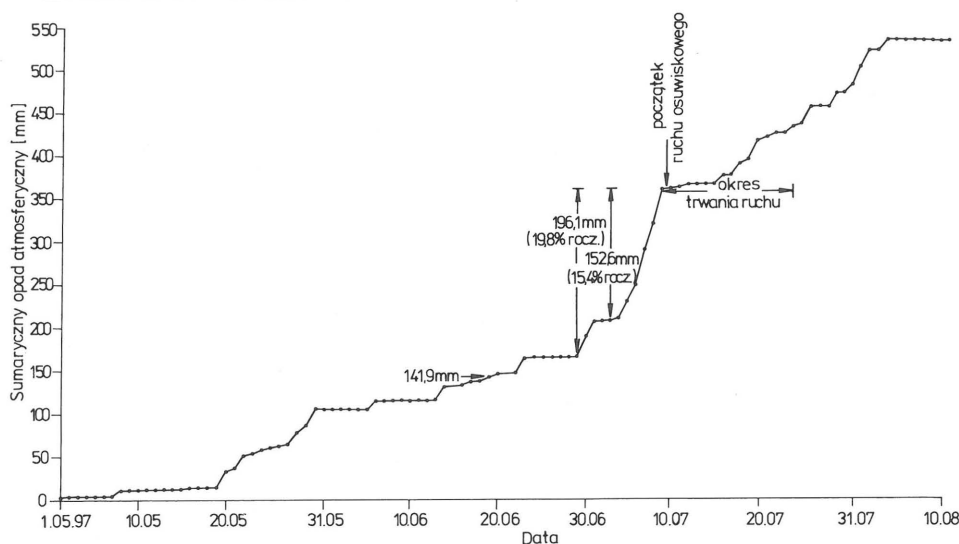
Generalnie analizowana forma osuwiskowa miała charakter sukcesyjnego zsuwu zwietrzelinowego (por. Jakubowski, 1964), obejmującego zarówno zwietrzelinę łupków pstrych, jak również nadległe utwory gliniasto-piaszczyste z rumoszem, wprowadzone w formie sztucznego nadkładu w trakcie niwelacji powierzchni trasy. Rynnowy charakter formy osuwiskowej (por. ryc. 2; 7), był spowodowany zarówno niewielką szerokością wychodni łupków, ograniczeniami skarp bocznych trasy zjazdowej, jak również etapowym charakterem rozwoju osuwiska. Stosunkowo płytko występująca powierzchnia poślizgu, została prawdopodobnie rozwinięta wzdłuż



Ryc. 3. Etapy rozwoju osuwiska na Palenicy; A — 10.07. 1997, B — 12.07.1997, C — 16–23 07.1997 (wg szkicu S. Zachwieji). Na ryc. 3A linią przerywaną zaznaczono zasięg starego osuwiska zniwelowanego w trakcie budowy trasy (por. Dokumentacja..., 1974). Na rycinie 3C zaznaczono punkty pomiarowe (1–7) zainstalowane na osuwisku (patrz ryc. 5–6). Pozostałe objaśnienia sygnatur patrz ryc. 2

Fig. 3. The stages of development of landslide on Palenica Mt; Stages: A — 10.07.1997, B — 12.07.1997, C — 16–23 07.1997 (after the hand-draw made by S. Zachwieji). On the 3A draw, dashed — line shows the limits of the old landslide, removed by ski-trail building (vide Dokumentacja..., 1974). On the 3C draw are points of measurements (1–7) installed on the landslide surface (see Figs 5–6). For other explanation see Fig. 2

Jęzor ten o średniej miąższości 1,5–2,0 m, w kierunku NE częściowo nasunął się na trasę zjazdową, zajmując ok. 3/4 jej szerokości. Od południa był on początkowo obramowany niewielką skarpą (0,5 m wysokości) z wysadami błotnymi w jej obrębie: w tym miejscu nastąpiło odspojenie i przetransportowanie w dół zbocza fragmentu stoku porośniętego lasem, tworzącego kolano zakrętu trasy zjazdowej (por. ryc. 2.1c, 3B–C). Ten fragment koluwium utworzył czoło jęzora, gdzie powstało wyraźnie dwudzielne nabrzmienie o wysokości 2–2,5 m, całkowicie nasunięte na trasę zjazdową. Południowy fragment nabrzmienia był kilka metrów przesunięty w dół po zboczu w stosunku do jego północnej części: w obrębie tej części trasy zjazdowej zachował się ślad jego transportu w formie niewielkich bruzd wyżłobionych na powierzchni trasy. Zachowane na powierzchni nabrzmienia pochylone i powalone drzewa, wskazują na zwarty charakter przemieszczanego fragmentu stoku (ryc. 2.1c, 2.2c). Obszar poniżej czoła jęzora był silnie zawodniony, na jego zaś NE przedpołu, wskutek obciążenia zbocza masami koluwalnymi, powstały szczeliny wskazujące na możliwość powstania kolejnej generacji ruchów masowych.



Ryc. 4. Krzywa kumulatywna opadów (w mm), według danych ze stacji Krościenko (za okres 01.05–19.06) i Szczawnica (20.06–11.08 1997 r.)

Fig. 4. Cumulative curve of precipitation (in mm), after data from the Krościenko (01.05–19.06. 1997) and Szczawnica (20.06–11.08. 1997) field meteorological stations

granicy zwietrzelnina–skała (por. Bober, 1984), w znacznej zaś mierze blokowe przesunięcia materiału koluwalnego (por. ryc. 8), wskazywało na jej płaski przebieg (por. Jakubowski, 1964). Charakter tej powierzchni był determinowany stopniem nawodnienia i lokalnie upłynnienia mas zwietrzelinowych, przemieszczanych prawdopodobnie po nieprzepuszczalnych łupkach. Na niewielką głębokość odkłucia mas osuwiskowych, wskazywały zarówno płytkie skarpy boczne zsuwu, jak również częste, płaskie nasuwanie materiału koluwalnego na powierzchnię terenu.

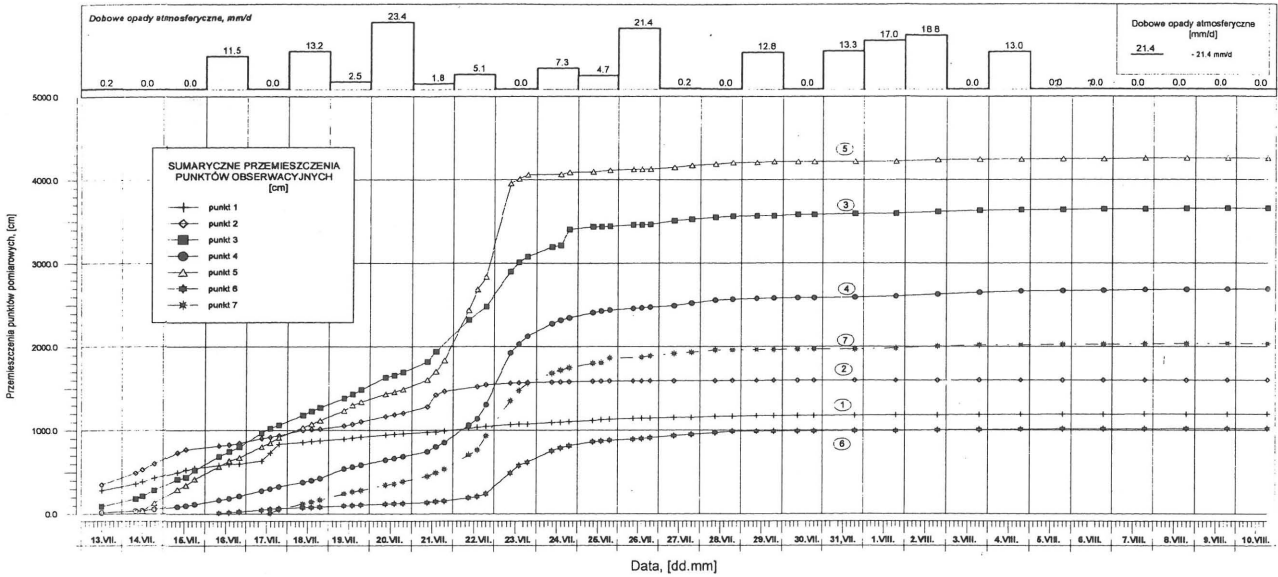
Jakkolwiek powyżej zespołu nisz głównych wykształciły się charakterystyczne szczeliny o łukowatym przebiegu (ryc. 2.1), opisywane przez Jakubowskiego (1964) jako symptomatyczne dla osuwisk ze ścinania, płaski charakter płaszczyzny poślizgu wskazywał na strukturalny typ osuwiska, rozwijanego wzdłuż granicy zwietrzelnina–skała (por. Kleczkowski, 1955; Bober, 1984). Kierunek ruchu mas osuwiskowych zgodny z biegiem warstw, świadczył o subsekwentnym typie formy (por. Ziętara, 1969; Bober, 1984) (ryc. 2.1, 2.2). Inicjacja ruchu w górnych partiach osuwiska i rozwój formy w dół stoku, wskazuje na detruzywny rozwój formy, związany z oddziaływaniem przemieszczanych mas koluwalnych, na niższe położone części zbocza (por. Kleczkowski, 1955) (por. ryc. 3. A–C). Lokalne przenoszenie ruchów w górę osuwiska, było głównie efektem odprężenia tej części stoku przez powstały zsuw (ryc. 3 A–C) i zaznaczyło się jedynie w formie zespołu szczelin dylatacyjnych rozwieranych ponad zespołem nisz (por. ryc. 2.1; 3B–C) i półkolistych pęknięć pokrywy darniowej (typowych dla zerw zwietrzelinowych — por. Jakubowski, 1964), bezpośrednio kształtujących krawędź jednej ze skarp głównych (ryc. 2.1a).

Nierównomierne natężenie ruchu mas zwietrzelinowych (niekiedy ruch mas osuwiskowych przechodził w pełnięcie) spowodowało, że koluwium zachowało głównie elementy typowe dla zwartego charakteru przemieszczania mas zwietrzelinowych (znaczne partie koluwium są zadarnione) (por. ryc. 7, 8), które w niższych partiach ulegały spiętrzeniu, jedynie zaś w ograniczonym zakresie, ulegały dezintegracji typowej dla osuwisk detrytycznych (por. Ziętara, 1969), przechodząc lokalnie w spływ gruzowo-błotny.

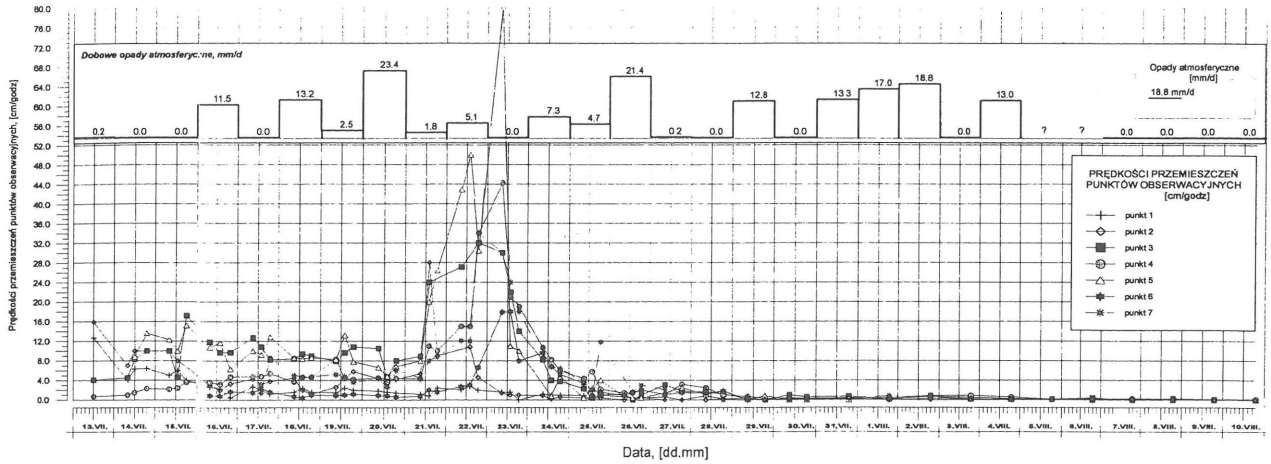
W górnych partiach osuwisko objęło swym zasięgiem

szlaczny nadkład, wprowadzony w trakcie budowy trasy, w celu wyrównania deniwelacji terenu występującej na kontakcie odpornych utworów piaskowcowo-lupkowych formacji jarmuckiej i podatnych pstrych łupków formacji łupków z Malinowej. Fragment wysokiej, amfiteatralnej nisy wysuniętej najbardziej na południe, częściowo objął również zwietrzelinę utworów formacji Jarmuckiej, zalegającą w obrębie kontaktu utworów obydwu formacji (ryc. 1). Destabilizacja mas zwietrzelinowych w efekcie której nastąpił podział (wzdłuż szczelin) i przemieszczenie koluwium, mogła więc być związana ze strefami osłabionymi geotektonicznie występującymi na kontakcie sztuczny nasyp-zwietrzelnina łupkowa oraz na granicy spękanych utworów formacji jarmuckiej i formacji łupków z Malinowej, różniących się podatnością. Istotną rolę w inicjacji ruchu masowego odegrało nasycenie wodą i związane z tym silniejsze przeciążenie najbardziej mięjszych pokryw zwietrzelinowych i nasypowych występujących w górnych partiach osuwiska. Charakter rozkładu i kształt koluwium były związane z szybkością przemieszczania mas zwietrzelinowych (często zadarnionych) i od rodzaju podłoża. Najwyższe nisy powstały w obrębie osuwiska inicjalnego i są związane zarówno z występowaniem tutaj grubych pokryw nasypowych, jak i stopniowym kreowaniem płaszczyzn odkłucia (etap przygotowawczy osuwiska — por. Jakubowski, 1974) poprzez sukcesywne rozwieranie głębokich szczelin (ryc. 3A). Efektem transportu materiału nasypowo-zwietrzelinowego zalegającego w formie grubych nadkładów w górnych partiach osuwiska, było rozległe nabrzmienie koluwalne nasunięte na powierzchnię trasy narciarskiej (por. ryc. 2.1, 2b). Pierwotne wyhamowanie i spiętrzenie czoła osuwiska na tym obszarze (ryc. 3B), było spowodowane redukcją pokryw zwietrzelinowych, usuniętych tu w trakcie budowy trasy, wraz z koluwium znajdującego się tutaj starszego osuwiska (Geoprojekt, 1974) (por. ryc. 3A). Nabrzmienie to zostało następnie obcięte wysoką niszą najmłodszego osuwiska, płytka zaś rynna wykształcona u jej podnóża, częściowo sięgnęła skał podłoża. Inicjacja najmłodszej generacji ruchów, była efektem gwałtownego obciążenia podłoża przez nasuwające się masy koluwalne osuwiska inicjalnego (por. ryc. 3B). Jest przy tym charakterystyczne, że obszar odkłucia mas koluwalnych najmłodszego osuwiska, pokrywał się z górnym zasięgiem starej formy osuwiskowej usuniętej w trakcie niwelacji trasy (por. ryc. 3A–C), co może wskazywać na geotektoniczne osłabienie podłoża związane z istniejącą tu starą formą osuwiskową.

Ukształtowanie jezora osuwiskowego nasuniętego poniżej załomu na powierzchnię trasy zjazdowej, było efektem zarówno przemieszczenia i różnicowania materiału koluwalnego zrzuconego u wylotu rynny, jak i płytkiego odkłucia i przetransportowania (częściowo po powierzchni terenu) fragmentu zbocza porośniętego lasem, tworzącego tu zakole w obrębie trasy narciarskiej (ryc. 3C). Znaczne zróżnicowanie rzeźby powierzchni jezora i nierównomierne nasunięcie jego czoła na trasę zjazdową, było efektem kilku etapów uruchamiania mas koluwalnych w tym regionie.



Ryc. 5. Sumaryczne przemieszczenia punktów pomiarowych w obrębie osuwiska (vide ryc. 3C)
Fig. 5. The sum of movement of the measurement points situated inside the landslide (see Fig. 3C)



Ryc. 6. Prędkości przemieszczeń punktów pomiarowych w obrębie osuwiska (vide ryc. 3C)
Fig. 6. The rate of movement measurement points of situated inside the landslide (see fig. 3C)

Antropogeniczne uwarunkowania rozwoju formy

Antropogeniczne uwarunkowania rozwoju formy, były związane zarówno z niwelacją terenu w trakcie budowy trasy zjazdowej, jak również z charakterem przebiegu nartostady, zlokalizowanej w głównej mierze w obrębie utworów wybitnie podatnych na osuwanie. Niwelacja terenu pod trasę spowodowała zarówno zmianę lokalnego reżimu hydrogeologicznego, jak również zróżnicowanie parametrów stateczności zbocza, wywołane nierównomiernym rozkładem utworów pokrywowych. W dolnej części trasy, usunięcie kolumium starego osuwiska (por. ryc. 3A), spowodowało częściową ekspozycję pstrych łupków występujących w podłożu (stanowiących przy tym warstwę uszczelniającą horyzont wodonośny związany ze zwietrzeliną), co w znacznym stopniu wpłynęło na dynamikę i charakter rozwoju formy. Z kolei sztuczny nadkład utworów nasypowych wprowadzony podczas niwelacji trasy w górnych partiach osuwiska (por. ryc. 2.2a), wpłynął zarówno na zmianę stateczności tej części zbocza, jak również (poprzez sztuczne zwiększenie miąższości warstwy potencjalnie wodonośnej), na zmianę reżimu hydrogeologicznego tej strefy. Istotną rolę dla

powstania zsuwu odegrało również antropogeniczne wylesienie i zadarmienie trasy zjazdowej (por. ryc. 7; 8), mające zasadniczy wpływ na zmianę stosunków wodnych. Jak wykazały badania, najbardziej korzystne warunki rozwoju osuwisk zwietrzelinowych panują na zboczach pokrytych zwartą roślinnością trawiastą (por. Jakubowski, 1964, 1965, 1968; Słupik, 1973; Gil, 1986). Zwarta pokrywa darniowa utrudnia bowiem proces spłukiwania oraz dłużej zatrzymuje większość wody opadowej, powodując znaczne grawitacyjne przeciążenie gruntu, jak również jego częściowe uplastycznienie i upłynnienie.

Uwarunkowania hydrometeorologiczne

Bezpośrednim impulsem powodującym uruchomienie osuwiska, były nawalne opady atmosferyczne w okresie 4–9 lipca. Analiza danych ze stacji meteorologicznych w Szczawnicy i Krościenku (ryc. 4) wskazuje, że w tym okresie opad deszczu wyniósł sumarycznie 152,6 mm, tj. 15,4% wysokości sumarycznego opadu rocznego w 1997 r., wynoszącego 989 mm. Dodatkowo wysoki opad wystąpił też 30 czerwca i 1 lipca, w wysokości odpowiednio 16,8 i 26,7 mm, co sumarycznie dało 196,1 mm (ok. 19,8 % opadu rocznego). Istotny dla



Ryc. 7. Widok ogólny górnych partii osuwiska na Palenicy
Fig. 7. A view of top part of the Landslide on Palenica

powstania osuwiska był również nierównomierny rozkład opadów, których znaczna intensyfikacja była rejestrowana 3 dni przed powstaniem osuwiska (111 mm, przy średniej intensyfikacji 37 mm/d). Tak wysoki opad deszczu spowodował pełne nasycenie wodą strefy zwietrzelinowej stoku i zmniejszenie wartości parametrów wytrzymałości gruntu na ścinanie, a w konsekwencji redukcję naprężeń efektywnych w gruntach i zwiększenie ciśnienia hydrodynamicznego w całej strefie zwietrzliny. Nie bez znaczenia dla reżimu hydrologicznego, było również wcześniejsze naturalne zawilgocenie tej części stoku, spowodowane częstymi wysiękami i wypływami wody na kontakcie utworów piaskowcowo-zlepieńcowych formacji Jarmuckiej i uszczelniających łupków pstrych formacji łupków z Malinowej (por. Dokumentacja..., 1974).

Dynamika ruchu osuwiskowego

Ruchy osuwiskowe zaobserwowano dnia 10.07. 1997 r., podczas rutynowej wizji lokalnej, prowadzonej przez obsługę kolejki linowej na Palenicę. Początkiem osuwiska były pęknięcia powierzchni stoku, przebiegające w poprzek trasy narciarskiej, na wysokości podpory nr 9 kolejki linowej (ryc. 3A), będące wówczas jedynym przejawem destabilizacji stoku. Zainstalowane przez obsługę punkty pomiarowe (w dn. 11–12 lipca), uzupełniane w trakcie rozwoju formy, pozwalały obserwować wielkość przemieszczenia mas koluwalnych (ryc. 3C, 5) (por. Zachwieja, 1997). Wyniki tych pomiarów wskazują, że równomierne przemieszczenia mas osuwiskowych były rejestrowane na wszystkich punktach obserwacyjnych do dnia 21 lipca (ryc. 5). Gwałtowny przyrost wielkości i prędkości przemieszczeń obserwowany w dniach 21–23 lipca (por. ryc. 5, 6), był poprzedzony silnymi opadami deszczu w dn. 20 lipca (por. ryc. 4–6).

Największą dynamiką ruchu charakteryzowały się niższe partie osuwiska znajdujące się w obrębie formy najmłodszej w zespole. W tym czasie w obrębie górnej, inicjalnej formy (por. ryc. 3. A, B), nie zaobserwowano znacznych przyrostów wielkości przemieszczeń (por. ryc. 5).

Począwszy od 24 lipca, nastąpiło praktyczne uspokojenie ruchów mas osuwiskowych, mimo ponownie dużego opadu deszczu w dniu 26 lipca. Sumaryczne przemieszczenia punktów wyniosły od 10 do 40 m (ryc. 5). Wykres szybkości przemieszczeń punktów obserwacyjnych sporządzony w oparciu o pomiary (ryc. 6), wskazuje na znaczne zróżnicowanie prędkości przemieszczenia poszczególnych elementów koluwium. W okresie 22–23 lipca prędkości te zmieniały się od 80 cm/godz. (punkt 5), do 2 cm/godz.



Ryc. 8. Fragment koluwium obcięty zespołem wtórnych nisz (patrz ryc. 2.1b). Po prawej stronie widoczna charakterystyczna wiśniowa zwietrzelina łupków pstrych. Powyżej (na drugim planie) widoczne niszce główne osuwiska

Fig. 8. A fragment of colluvium cut by the posthumous niches (see Fig. 2.1b). On the right, the characteristic, red weathering of variegated shales is visible. Above (second plan) the main niches of landslide

(punkt 1). W okresie zasadniczej fazy rozwoju osuwiska, szybkości przemieszczania mas koluwalnych wynosiły ok. 4–16 cm/godz. (ryc. 6) (Rybicki i in., 1997). Daje się zauważyć, że na dynamikę przemieszczania mas osuwiskowych, zasadniczy wpływ wywierała wielkość opadów atmosferycznych (por. ryc. 4–6). Wahania wód gruntowych warunkowane intensywnością opadów, w istotny sposób wpływały na charakter i tempo przemieszczania różnych partii osuwiska, zróżnicowane w poszczególnych częściach formy, w zależności od charakteru magazynowania wody przez koluwia (por. Gil & Kotarba, 1977; Starkel, 1976). Stopień nawodnienia koluwiów, ich miąższość oraz stopień uszczelnienia podłoża, warunkowały z kolei dystrybucję wody opadowej na spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy (por. Starkel, 1976; Gil & Starkel, 1979; Gil, 1994, 1997) co prowadziło do zróżnicowania dynamiki przemieszczania poszczególnych partii osuwiska. W efekcie następowało zarówno charakterystyczne niewielkie opóźnienie ruchu w stosunku do czynnika inicjalnego (gwałtowniejsza reakcja koluwium na wysoki opad z 20 lipca została zarejestrowana dopiero z 21/22 lipca — por. ryc. 5), jak również niesynchronizność przemieszczeń poszczególnych elementów koluwium (por. ryc. 3C, 5, 6).

Efektem zróżnicowania wielkości i tempa przemieszczeń poszczególnych elementów koluwium, było tworzenie się stref szczelin i nisz w obrębie całego osuwiska, dzielących go na części o różnej dynamice ruchu (por. ryc. 5, 6, 8). Liczne stałe wypływy i wysięki wody występujące w obrębie osuwiska (jej nadmiar gromadził się w zagłębieniach koluwalnych, skąd był sztucznie odprowadzany), powodowały również lokalnie złaziskowy charakter przemieszczeń niewielkich partii koluwium (por. Jakubowski, 1964), występujących (szczególnie w obrębie wysadów błotnych związanych z częściowym upłynięciem koluwium) również po względnym ustabilizowaniu formy, co było obserwowane jeszcze pod koniec lipca 1997 r. Jednakże możliwość przeprowadzenia szczegółowej analizy wielkości i charakteru tych przemieszczeń, była znacznie ograniczona zbyt małą ilością punktów pomiarowych (ryc. 3C, 5–6).

Obecnie forma osuwiskowa na Palenicy została całkowicie zniwelowana. Już jesienią 1997 r., znaczna część powierzchni osuwiska została wyrównana w trakcie rekonstrukcji trasy zjazdowej, którą uruchomiono w sezonie zimowym 1997/1998. Wiosną i latem 1998 r. dokończono odbudowę trasy zjazdowej

i wykonano rowy odwadniające, prowadząc do całkowitej niwelacji powierzchni osuwiska na Palenicy.

Geologiczno-inżynierskie uwarunkowania zsuwu

Znaczne, mechaniczne przemieszczenie zwietrzliny podczas prac niwelacyjnych pod trasę zjazdową, wpłynęło zarówno na zmiany stateczności zbocza, jak również potencjalnego reżimu hydrogeologicznego regionu. Większa ilość materiału zwietrzelinowo-nasykowego, została zgrupowana w obrębie obecnej górnej niszy osuwiska. Przesylenie tego nasuniętego materiału wodą przy zwiększonej prawdopodobnie do ok. 4–5 m sumarycznej grubości zwietrzliny i nasypu, zainicjowało tutaj właśnie ruch osuwiskowy, który następnie objął dalsze, niżżej położone partie stoku.

Nie są dotychczas zbadane parametry wytrzymałościowe zwietrzliny łupków na ścinanie w strefie poślizgu osuwiska. Można jednak oszacować je z tzw. odwrotnej analizy stateczności górnego fragmentu stoku z pierwszej inicjalnej fazy osuwiska, zakładając, że współczynnik stateczności (F) w chwili powstawania osuwiska wynosił $F = 1$. Współczynnik ten dla tzw. zbocza nieograniczonego nasyconego w części wodą, o zwierciadle ułożonym równolegle do stoku zbocza, można wyznaczyć ze wzoru (Abramson i in., 1995):

$$F = \frac{c' + H \cdot \cos^2 \alpha \cdot [(1 - m) \cdot \gamma + m \cdot \gamma'] \cdot \operatorname{tg} \Phi'}{H \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot [(1 - m) \cdot \gamma + m \cdot \gamma_{sr}]}$$

gdzie: H — miąższość zwietrzliny na stoku powyżej powierzchni poślizgu przebiegającej równolegle do spadku stoku,

m — procent miąższości warstwy zwietrzliny wysyczonej wodą (liczba dziesiętna),

α — nachylenie zbocza (i nachylenie powierzchni poślizgu),

c' — efektywna spójność gruntu w powierzchni poślizgu,

Φ' — efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu w powierzchni poślizgu,

γ — ciężar objętościowy zwietrzliny w strefie powyżej zwierciadła wody (w strefie aeracji),

γ' — ciężar objętościowy zwietrzliny z uwzględnieniem wyporu wody,

γ_{sr} — ciężar objętościowy zwietrzliny z uwzględnieniem pełnego nasycenia wodą (w strefie saturacji).

Przyjęty model tzw. stoku nieograniczonego wydaje się najbardziej adekwatny do typu zaistniałego osuwiska (osuwisko translacyjne o znacznie większej długości po spadku stoku w stosunku do szerokości). Przyjmując średnią łączną miąższość zwietrzliny i nasypu w inicjalnej górnej części osuwiska $H = 4,5$ m i $\alpha = 16,5^\circ$ oraz $\gamma = 2,1$ t/m³, $\gamma_{sr} = 2,3$ t/m³, $\gamma' = 1,05$ t/m³ a także pełne nasycenie warstwy zwietrzliny wodą aż do powierzchni stoku ($m = 1$), równanie na współczynnik stateczności dla $F = 1$ spełnione jest dla wielu kombinacji wartości c' i Φ' . Znając jednak typ zwietrzliny (zwietrzlina łupków ilastych) oraz w oparciu o wyniki badań osuwiska w Szymbarku (Dokumentacja..., 1994) o podobnym typie zwietrzliny (zwietrzlina pstrych łupków paleogenu), dla których na podstawie badań ścinania określono $c_u = 16$ kN/m², $\Phi_u = 6,4^\circ$, można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że w osuwisku stoku Palenicy efektywne parametry oporu ścinania, spełniające warunek $F = 1$ przy pełnym nasyceniu zwietrzliny wodą ($m = 1$) wynosiły: $c' = 10$ kN/m², $\Phi' = 23^\circ$. Parametry te, głównie kąt tarcia wewnętrznego, musiały być jeszcze mniejsze w chwili powstania osuwiska jeśli nasycenie warstwy zwie-

trzeliny wodą nie sięgało powierzchni stoku ($m < 1$). Niestety nie przeprowadzono stosownych obserwacji położenia zwierciadła wody w zwietrzelinie na stoku w okresie powstania osuwiska. Wydaje się prawdopodobne, że było to nasycenie pełne. Wskazywało by na to znaczne zawodnienie koluwiów, wycieki i sączenia z nich wody jeszcze przez wiele dni po wystąpieniu osuwiska. Dysponując efektywnymi wartościami parametrów oporu ścinania zwietrzliny i monitorując położenie zwierciadła wody na stoku, można szacować stopień jego zagrożenia powstaniem ponownych ruchów osuwiskowych (wartość współczynnika stateczności) przy wykorzystaniu formuły (1). Przy takim założeniu wartości efektywnych parametrów oporu ścinania zwietrzliny w powierzchni poślizgu osuwiska — $c' = 10$ kN/m², $\Phi' = 23^\circ$, już przy położeniu zwierciadła wody na głębokości 0,9 m poniżej powierzchni stoku, jego współczynnik stateczności ($F = 1,19$) był wystarczający dla zapewnienia stabilności stoku.

Osuwisko na stoku Palenicy na tle warunków powstania innych osuwisk karpackich

Związek powstawania lub uaktywniania się osuwisk w Karpatach z wysokością i intensywnością opadu atmosferycznego jest bezsporny i opisywany przez wielu autorów (Blauth & Zuber, 1907; Sawicki, 1917; Stecki, 1934; Śliwa, 1955; Starkel, 1960; Jakubowski, 1964, 1965, 1968; Bober i in., 1977; Gil & Starkel 1979; Dauksza & Kotarba, 1973; Gil, 1994, 1997; Dziuban, 1983; Alexandrowicz, 1996; Starkel, 1997). Najczęściej podkreśla się, że powstanie nowych lub odnowienie starszych osuwisk ma miejsce wówczas, gdy opad atmosferyczny zazwyczaj w krótkim czasie (1–3 dni) przekroczy pewne tzw. progowe (krytyczne) wartości, przedstawiane zazwyczaj jako określony procent od wysokości rocznego opadu w analizowanym okresie poprzedzającym powstanie osuwiska lub jako bezwzględna wartość opadu w tym okresie wyrażona w milimetrach. Te krytyczne wartości opadu, są charakterystyczne dla danego regionu charakteryzującego się określonym stanem podłoża (litologią, charakterem zwietrzliny, morfologią i stopniem ekspozycji stoków) (por. Gil, 1994, 1997).

Na tym tle osuwisko na stoku góry Palenica nie odbiega swoimi związkami z opadem od innych opisywanych dotychczas. Gil (1994, 1997) analizując hydrometeorologiczne uwarunkowania rozwoju kilku osuwisk karpackich powstałych po ulewnych deszczach stwierdza, że w obrębie utworów piaskowcowo-łupkowych i łupkowych, osuwiska rozwijają się wówczas, gdy suma opadów w ciągu ok. 20–40 dni poprzedzających powstawanie osuwisk, przekracza 200–250 mm. Osuwisko na Palenicy powstało, gdy suma opadów w ciągu 30 dni poprzedzających ruchy, wyniosła 244 mm (ryc. 4). W innych pracach (Jakubowski, 1964, 1965; Gil & Starkel, 1979; Starkel, 1997) podaje się też wysokość opadu krytycznego dla regionu Karpat, wynoszącą powyżej ok. 100 mm w okresie kilku dni poprzedzających ruchy osuwiskowe (osuwisko na Palenicy powstało po opadzie 111 mm za okres 3 dni poprzedzających ruchy osuwiskowe, przy średniej intensywności ok. 37 mm/dobę). W aspekcie uwarunkowań hydrometeorologicznych i geologicznych, warunki powstania osuwiska na Palenicy są zbliżone do osuwiska w Szymbarku (Dokumentacja..., 1994; Gil & Starkel, 1979), powstałego w czerwcu 1974 r. i dotyczą one zarówno morfologii stoku (nachylenia osuniętej części stoku Palenicy przed powstaniem osuwiska około 10° – 20° ; w Szymbarku ok. 11° – 17°), charakteru zwietrzliny, w obu przypadkach zwietrzlina łupków pstrych (wiśniowych) z fragmentami piaskowca, powierzchni

osuwska (Palenica ok. 1,3 ha; Szymbark ok. 1,22 ha), jak też i wysokość opadu poprzedzającego powstanie osuwisk (dla Palenicy tygodniowy opad poprzedzający wyniósł 152,6 mm, dla Szybarku zaś ok. 157 mm). Nieprzypadkowo więc przy dużym podobieństwie warunków geologicznych i morfologicznych uruchomienie obydwu osuwisk odbyło się przy podobnej wysokości opadu atmosferycznego.

Podsumowanie

Osuwisko na stoku góry Palenica w Szczawnicy powstało w okresie lipcowych ekstremalnych opadów deszczu, które w miesiącu tym wyniosły 302,5 mm, co stanowiło 30,6% opadu rocznego. W okresie 3 dni bezpośrednio poprzedzających wystąpienie osuwiska sumaryczny opad osiągnął krytyczną wartość 111 mm, przy intensywności ok. 37 mm/dobę (co stanowi ok. 11,1% opadu rocznego). Ruchy osuwiskowe wystąpiły bezpośrednio po tym ekstremalnym trzydniowym opadzie i trwały przez okres ok. 14 dni, osiągając maksymalne prędkości przemieszczenia koluwiów ok. 20–80 cm/godz., zależnie od rejonu osuwiska. Całkowite przemieszczenie koluwiów wyniosło ok. 10–40 m.

Istotną rolę w inicjacji i charakterze rozwoju osuwiska, odegrały antropogeniczne przekształcenia fragmentu stoku — jego wylesienie i zadarnienie oraz utworzenie zjazdowej trasy narciarskiej i związane z tym sztuczne przemieszczenie zwietrzliny przy makroniwelacji stoku. Również budowa geologiczna podłoża wybitnie sprzyjała rozwojowi ruchów masowych, które rozwinęły się wzdłuż pasa wychodni pstrych łupków górnokredowych, mało odpornych na wietrzenie i podatnych na rozmakanie przy zawilgoceniu.

Analiza kompleksu warunków w jakich wystąpiło osuwisko stoku góry Palenica wskazuje, że nie odbiegały one od warunków geologicznych i hydrometeorologicznych, towarzyszących wystąpieniom innych płytkich osuwisk zwietrzliny na stokach Karpat.

Autorzy składają podziękowania Dyrekcji Polskich Kolei Linowych w Zakopanem oraz inż. S. Zachwieji ze stacji PKL w Szczawnicy, za cenne informacje i udostępnienie niepublikowanych materiałów dotyczących osuwiska na Palenicy.

Literatura

ABRAMSON L.W., LEE T.S., SHARMA S. & BOYCE G. M. 1995 — Slope stability and stabilization methods. John Wiley and Sons, INC. New York.
ALEXANDROWICZ S. W. 1996 — Holocenne fazy intensyfikacji procesów osuwiskowych w Karpatach. Kwart. AGH, Geologia, 22: 223–262.
BIRKENMAJER K. 1977 — Jurassic and cretaceous lithostratigraphic units of the Pieniny Klippen Belt, Carpathians, Poland. Studia Geol. Pol., 45: 1–159.
BIRKENMAJER K. 1992 — Szczawnica—Zabianiszcz. Jura i kreda jednostki Grajcarka, stosunek jednostki Grajcarka do płaszczowiny marskiej. [In:] N. Oszczytko & W. Zuchiewicz (red.) Przew. 63 Zjazdu Pol. Tow. Geol., Koninki 17–19 września 1992: 42–45.
BIRKENMAJER K. & OSZCZYTKO N. 1989 — Cretaceous and Palaeogene lithostratigraphic units of the Magura Nappe, Krynica Subunit, Carpathians. Ann. Soc. Geol. Pol., 59: 145–181.
BLAUTH J. & ZUBER R. 1907 — Katastrofa w Duszatynie. Czas. Techn., 25: 218–221.
BOBER L., CHOWANIEC J., OSZCZYTKO N., WITEK K. & WÓJCIK A. 1997 — Geologiczne warunki rozwoju osuwiska w Brzeżance koło Strzyżowa. Prz. Geol., 25: 372–377.
BOBER L. 1984 — Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. Biul. Inst. Geol., 340: 115–158.

Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla projektu terenowo-roboczego budowy wyciągu w Szczawnicy 1974 — Geoprojekt, Oddz. Kraków, Kraków.
Dokumentacja geologiczno-inżynierska osuwiska w Szymbarku 1994 — Zakł. Usług Wiertn. Geotekt. i Inż. Środ. WODEKO, Kraków.
DZIUBAN J. 1983 — Osuwisko Połoma. Czas. Geogr., 54: 396–376.
GERLACH T. 1962 — Wędrujące zbocza. Poznań Świat. Mag. Geogr., 9: 28–33.
GIL E. 1986 — Rola użytkowania ziemi w przebiegu spływu powierzchniowego i spłukiwania na stokach fliszowych. Prz. Geogr., 58: 51–65.
GIL E. 1994 — Meteorologiczne i hydrologiczne warunki ruchów osuwiskowych. [In:] L. Starkel & P. Prokop (ed.), Przemiany środowiska przyrodniczego Karpat i kotlin podkarpackich. Inst. Geogr. i Przestrz. Zagospod. PAN, Conf. Paper, 20: 89–102.
GIL E. 1997 — Meteorological and hydrological conditions of landslides, Polish Flysch Carpathians. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 31: 143–158.
GIL E. & KOTARBA A. 1977 — Model of slide slope evolution in flysch mountains (An example drawn from the Polish Carpathians). Catena, 4: 233–248.
GIL E. & STARKEL L. 1979 — Long-term extreme rainfalls and their role in the modelling of flysch slopes. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 13: 207–220.
JAKUBOWSKI K. 1964 — Płytkie osuwiska zwietrzelinowe na Podhalu. Pr. Muz. Ziemi, 6: 113–146.
JAKUBOWSKI K. 1965 — Wpływ pokrycia roślinnego oraz opadów atmosferycznych na powstanie osuwisk zwietrzelinowych. Prz. Geol., 13: 395–398.
JAKUBOWSKI K. 1968 — Rola płytkich ruchów osuwiskowych zwietrzliny w procesach zboczowych na terenie wschodniego Podhala. Pr. Muz. Ziemi, 13: 137–314.
JAKUBOWSKI K. 1974 — Współczesne tendencje przekształceń form osuwiskowych w holocennym cyklu rozwojowym osuwisk na obszarze Karpat fliszowych. Pr. Muz. Ziemi, 22: 169–193.
KLECZKOWSKI A. 1955 — Osuwiska i zjawiska pokrewne. Wyd. Geol. KLIMASZEWSKI M. 1935 — Morfologiczne skutki powodzi w Małopolsce Zachodniej w lipcu 1934 r. Czas. Geogr., 13: 283–291.
KULKA A., RĄCZKOWSKI W., ŻYTKO S., GUCIK S. & PAUL Z. 1987 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. 1050, Szczawnica—Krościenko.
KULKA A., RĄCZKOWSKI W., ŻYTKO S., GUCIK S. & PAUL Z. 1991 — Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1 : 50 000, arkusz Szczawnica—Krościenko (1050). Wyd. Geol.
RYBICKI S., MARGIELEWSKI W., DOMAGAŁA A. & LENDUSZKO P. 1997 — Opinia geologiczno inżynierska w sprawie powstania osuwiska na stoku góry Palenica w Szczawnicy. Arch., Katedra Geol. Inż. i Geotechniki Środowiska AGH, Kraków.
SAWICKI L. 1917 — Osuwiska ziemne w Szymbarku i inne zsuwy powstałe w 1913 r. w Galicji Zachodniej. Rozpr. Wydz. Mat. Przyr. A. U. w Krakowie, 56, ser. A: 227–313.
SŁUPIK J. 1973 — Zróżnicowanie spływu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich. Dokum. Geogr., 2: 1–118.
STARKEL L. 1960 — Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie. Prace Geogr. Inst. Geogr. PAN, 22: 1–230.
STARKEL L. 1976 — The role of extreme (catastrophic) meteorological events in the contemporaneous evolution of slopes. [In:] E. Derbyshire (ed.), Geomorphology and climate. J. Wiley and Sons, London: 203–246.
STARKEL L. 1997 — Mass movements during the Holocene: the Carpathian example and the European perspective. Paläoklimaforschung/Palaeoclimate Research, 19: 385–400.
STECKI K. 1934 — Zsuwy ziemne w Beskidzie zachodnim po ulewach w lipcu 1934 r. Kosmos, 59: 391–396.
ŚLIWA P. 1955 — Osuwisko Bachledzkiego Wierchu w Zakopanem. Biul. Inst. Geol., 96: 61–108.
WRZOSEK-MATL J. 1961 — Osuwiska w Polsce południowej w roku 1960. Kosmos B, 7, 2: 127–130.
ZACHWIEJA S. 1997 — Uwagi dotyczące osuwiska na trasie narciarskiej Palenica. Arch. PKL, Szczawnica.
ZIĘTARA T. 1964 — O odmładzaniu osuwisk w Beskidach zachodnich. Roczn. Nauk. Dydak. WSP Kraków, Pr. Geogr. 22: 55–85.
ZIĘTARA T. 1968 — Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN, 60: 1–116.
ZIĘTARA T. 1969 — W sprawie klasyfikacji osuwisk w Beskidach zachodnich. Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 3: 111–130.