

STATECZNOŚĆ STOKÓW OSUWISKOWYCH NA PODSTAWIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNYCH SKAŁ I GRUNTÓW ORAZ POMIARÓW INKLINOMETRYCZNYCH

STABILITY OF LANDSLIDE SLOPES BASED ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS AND SOILS AND INCLINOMETER MEASUREMENTS

JAROSŁAW KOS¹

Abstrakt. Przedmiotem badań była analiza stateczności stoków o zróżnicowanej budowie geologicznej objętych procesami osuwiskowymi. Tego rodzaju analizy prowadzi się przeważnie dla osuwisk, na których planuje się wykonanie zabezpieczeń konstrukcyjnych i prace budowlane. Istotnym elementem jest właściwe udokumentowanie geologiczno-inżynierskich parametrów gruntowo-skalnych, które powinny stanowić podstawę do obliczeń stateczności. Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie GEO-5 – moduł stateczności skarp i zboczy. Celem artykułu jest propagowanie metodologii dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na obszarach osuwiskowych. Przedstawiono ogólną charakterystykę wybranych obszarów badawczych, na których zainstalowano kolumny inklinometryczne oraz scharakteryzowano metody badań osuwisk, które prowadzono zgodnie ze schematem: prace terenowe, badania laboratoryjne, pomiary inklinometryczne oraz obliczenia stateczności stoków dla wybranych przekrojów obliczeniowych. Osuwiska, które poddano analizie, są zlokalizowane w obrębie zewnętrznych Karpat fliszowych. Są one zaliczane do jednostek tektonicznych: magurskiej, śląskiej, podśląskiej, grybowskiej, a także niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego. Każde z wybranych osuwisk rozpoznano powierzchniowo i w głębinie. Rozpoznanie to pozwoliło na określenie modelu osuwiska na podstawie badań geologicznych. W wyniku szczegółowej analizy rdzeni wiertniczych i stwierdzonych powierzchni ścięcia w postaci wyraźnych luster określono główne płaszczyzny poślizgu. Na każdym z omawianych obszarów osuwiskowych zainstalowano kolumny inklinometryczne, w których przy pomocy sondy prowadzono pomiary przemieszczeń w głębinie. Uzyskane wyniki pozwoliły na skonstruowanie przekrojów, na podstawie których obliczono wskaźniki stateczności stoku poszczególnych obszarów osuwiskowych. Wyniki te porównano z wartościami wskaźnika stateczności dla założonych powierzchni poślizgu wyinterpretowanymi z pomiarów inklinometrycznych. Przedstawiono propozycję dokumentowania obszarów osuwiskowych, zwracając szczególną uwagę na właściwą interpretację budowy podłoża, ponieważ zbyt płytkie jego rozpoznanie i niewłaściwie prowadzony system wiercenia jest najczęstszą przyczyną błędnego dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.

Słowa kluczowe: ruchy masowe, osuwisko Ochojno, osuwisko Stroma, procedura dokumentowania osuwisk, Karpaty fliszowe, południowa Polska

Abstract. The subject of the research was to analyse the stability of slopes with varied geological structure covered by landslide processes. Such analyses are usually carried out for landslides where structural protection and construction works are planned. An important element is proper documentation of geological and engineering soil and rock parameters, which should form the basis for stability calculations. The GEO-5 software was used for the calculations – the slope and scarp stability module. The aim of the article is to promote the methodology of documenting geological and engineering conditions in landslide areas. The general characteristics of selected research areas where inclinometer columns were installed and the methods of landslide tests were described. They were applied in accordance with the scheme: field works, laboratory tests, inclinometer measurements, and slope stability calculations for selected calculation sections. Landslides, which were analysed, are located within the Outer Flysch Carpathians, classified as tectonic units: Magura, Silesia, Podlasie, Grybów, as well as the Miechów Basin and the Carpathian Foredeep. Both surface and subsurface parts of each of the selected landslides were studied. The studies allowed the creation of a landslide model based on geological research. As a result of detailed analysis of drill cores and identified shear planes in the form of clear slickenside, the main slip planes were determined. In each landslide area, inclinometer

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; e-mail: jkos@pgi.gov.pl.

columns were installed for depth measurements using a probe. The obtained results allowed constructing calculation sections which were the basis for the calculation of slope stability indicators of individual landslide areas. The results were compared with the stability indicator values obtained from inclinometer measurements. A proposal for documenting landslide areas was presented, paying special attention to the proper ground interpretation because too shallow ground identification and an improperly conducted drilling system are the most common causes of incorrect geological and engineering documentation.

Key words: mass movements, Ochojno landslide, Stroma landslide, landslide design procedure, Flysch Carpathians, southern Poland

WSTĘP

Powierzchniowe ruchy masowe stanowią istotne zagrożenie geodynamiczne w południowej części Polski (Chowaniec, Wójcik, 2012; Wójcik, 2019). Najbardziej niekorzystne dla działalności antropogenicznej są tereny osuwisk, których uruchomienie powoduje znaczne straty ekonomiczne (Rączkowski, 2015). Po uruchomieniu osuwiska i powstaniu zniszczeń prowadzi się szczegółowe badania geologiczne na terenach, gdzie planuje się wykonywanie zabezpieczeń konstrukcyjnych i prace budowlane (Grabowski i in., 2008). W trakcie prowadzenia badań geologicznych i wykonywania projektu budowlanego stosuje się różne metody obliczenia stateczności stoku. Istotnym elementem jest właściwe udokumentowanie parametrów geologiczno-inżynierskich, które powinny stanowić podstawę do obliczeń stateczności.

Na osuwiskach dużych, a także zagrażających obiektom budowlanym montuje się dodatkowo w otworach kolumny inklinometryczne. Mają one za zadanie identyfikację ruchów grawitacyjnych na osuwisku, określenie ich tempa, zakresu i głębokości przemieszczeń. Na podstawie mierzonych wartości przemieszczeń możliwe jest określenie zagrożenia dla istniejących obiektów oraz infrastruktury technicznej i drogowej na terenie osuwiska.

Osuwiska, które poddano analizie są zlokalizowane w obrębie zewnętrznych Karpat fliszowych, zaliczanych do różnych jednostek tektonicznych: magurskiej (Maków Podhalański – szpital, Stary Sącz – ulica Stroma, Kąclowa), śląskiej (Jaszczurowa, Jasło – Podzamcze), podśląskiej (Ochojno), grybowska (Kurów), a także niecki miechowskiej (Sadowie) i zapadliska przedkarpackiego (Chełm).

W wyniku badań laboratoryjnych dla wybranych osuwisk określono parametry geologiczno-inżynierskie (Wysocki, 2011), a powierzchnie poślizgu udokumentowano na podstawie analizy rdzeni wiertniczych. Uzyskane wyniki pozwoliły na skonstruowanie przekrojów geologiczno-inżynierskich, na podstawie których obliczono wskaźniki stateczności stoku poszczególnych obszarów osuwiskowych. Wyniki te porównywano z wartościami wskaźnika stateczności obliczonymi na podstawie uzyskanych danych z największych przemieszczeń stwierdzonych w pomiarach inklinometrycznych. Obliczenia przy wykorzystaniu danych inklinometrycznych prowadzono przy założeniu znanej (stwierdzonej pomiarami) największej głębokości przemieszczeń. Starano się przedstawić relacje między wynikami obliczeń stateczności osuwisk uzyskanych z badań terenowych i laboratoryjnych a danymi uzyskanymi z pomiarów

inklinometrycznych. Na przykładzie konkretnych osuwisk przedstawiono propozycję tzw. „dobrych praktyk” przy dokumentowaniu osuwisk.

LOKALIZACJA OSUWISK

Dla wielu osuwisk, które wymagały zabezpieczeń wykonano dokumentacje geologiczno-inżynierskie dla projektów budowlanych. Do szczegółowej analizy wykorzystano duże osuwiska, zagrażające infrastrukturze drogowej i znajdujące się w różnych jednostkach tektonicznych Karpat, zapadliska przedkarpackiego oraz niecki miechowskiej. Do postawionego celu badawczego wybrano osuwiska, które leżały w różnych jednostkach tektonicznych i posiadały dane związane z monitoringiem wgłębnym (fig. 1). Taki monitoring posiada osuwisko w Krakowie pod Kopcem Kościuszki, które szczegółowo opisano (Wójcik (red.), 2016). Analizie poddano tereny osuwiskowe zlokalizowane na obszarach jednostek: magurskiej, śląskiej, podśląskiej, grybowskiej, a także niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego (fig. 1).

Wszystkie wymienione osuwiska wykazywały aktywność podczas prowadzonych robót geologicznych i na ich terenie zainstalowano kolumny inklinometryczne.

METODY BADAŃ

W celu analizy uwarunkowań środowiskowych przeprowadzono prace kameralne w tym analizę prac publikowanych i archiwalnych na podstawie dokumentacji geologicznych oraz materiałów kartograficznych. Dla każdego wytypowanego obszaru osuwiskowego wykonano badania i analizy zgodnie ze schematem:

- prace terenowe (kartowanie geologiczno-inżynierskie, wiercenia badawcze, pobór próbek gruntów i skał, instalacja kolumn inklinometrycznych i założenie sieci monitoringu powierzchniowego oraz wgłębnego),
- wykonanie kompleksowych badań laboratoryjnych,
- pomiary inklinometryczne,
- przeprowadzenie obliczeń stateczności dla wybranych przekrojów obliczeniowych.

Na każdym z osuwisk wykonano pełnordzeniowane otwory wiertnicze podwójnym aparatem rdzeniowym, z ciągłym poborem rdzenia. Wymagany uzysk rdzenia nie był mniejszy niż 85%. Rdzenie zabezpieczono przed zawilgoce-

niem lub wyschnięciem poprzez szczelne owinięcie folią, a próbki pobierano metodą A do plastikowych pojemników. Badania te polegały na określeniu rodzaju gruntu, jego wizualnych cech fizycznych, domieszek, a także oznaczeniu stanu konsystencji i zagęszczenia oraz parametrów wytrzymałościowych. Nawiercone utwory skaliste szczegółowo opisano i określono rodzaj, stopień spękania i zwietrzania, rodzaj spękań, ich wypełnienia oraz przewarstwień (Pinińska, 2003, 2004, 2007). Opis i klasyfikacja nawierconych gruntów i skał przeprowadzono na podstawie norm PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2 Eurokod 7 wraz z załącznikami.

Przemieszczenia wgłębne (monitoring) analizowanych osuwisk prowadzono przy wykorzystaniu inklinometrów. Pozwoliły one na określenie tempa, kierunku i głębokości przemieszczania się koluwiów osuwiska. Szczegóły montażu, sposobów pomiarów oraz obliczenia są zawarte w in-

strukcjach i wykonanych dokumentacjach geologiczno-inżynierskich zgodnie ze schematem przedstawionym na figurze 2, a wcześniej zostały opracowane przez Turnera i Schustera (1996), Nescieruka i Rączkowskiego (2012), Zabuskiego (2013), Nescieruka (2015, 2017) oraz zawarte na stronie internetowej PIG-PIB <https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/sopo-baza-wiedzy/6330-metody-wglebne.html>.

Dla każdego analizowanego osuwiska przeprowadzono obliczenia stateczności, w których powierzchnię poślizgu modelowano na podstawie danych z prac terenowych i badań laboratoryjnych. Obliczenia prowadzono przy wykorzystaniu metod Sarmy–Hoeka, Spencera, Janbu, Morgensterna–Price’a oraz Shahunyanz zarówno dla łamanych, jak i kołowych powierzchni poślizgu w wielu wariantach przy wykorzystaniu programu GEO5. Podstawową metodą była Sarmy–Hoeka, która zawiera się w kategorii ogólnych me-

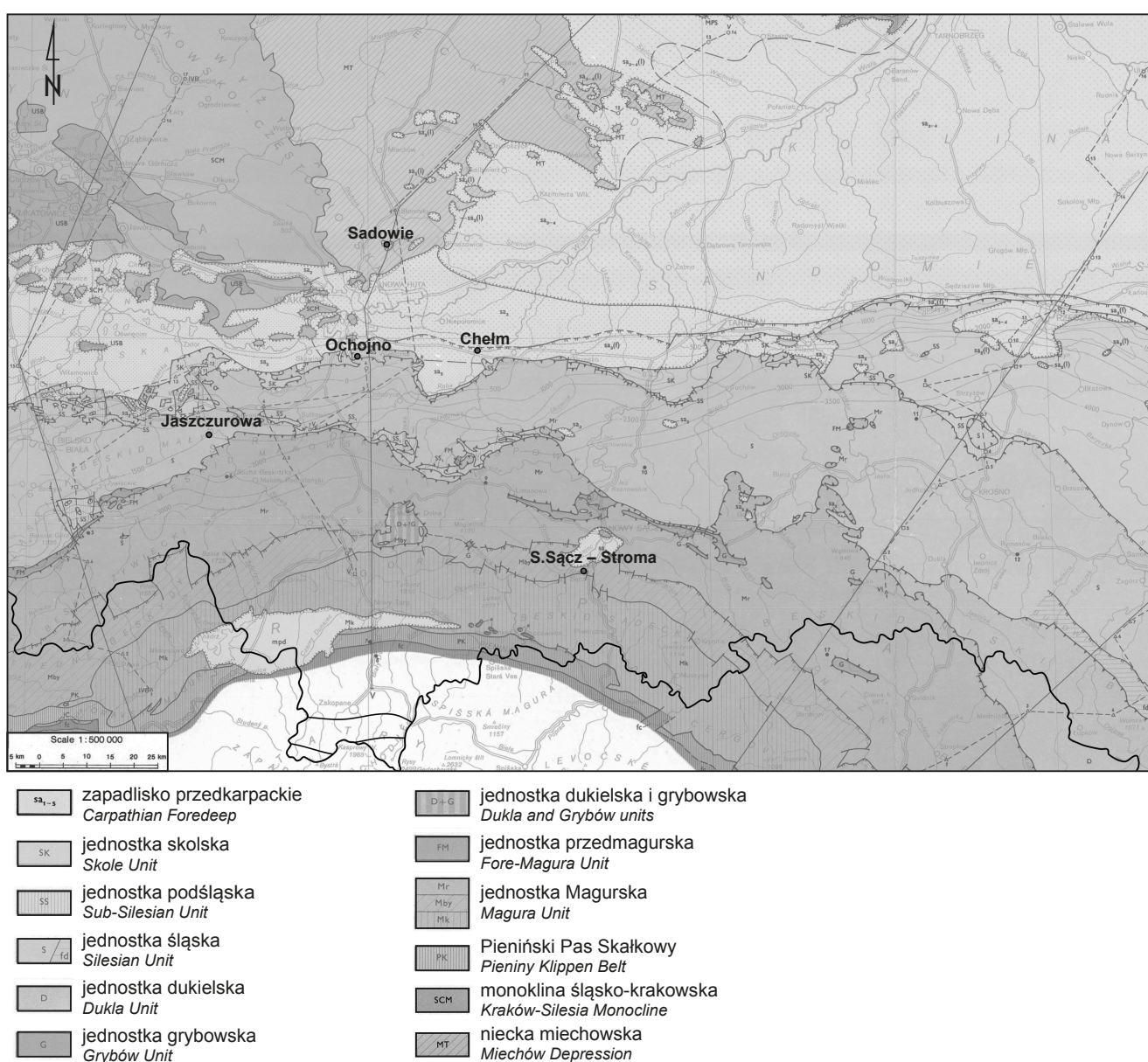


Fig. 1. Lokalizacja osuwisk na tle szkicu tektonicznego (wg Żytko i in., 1989)

Location of landslides against a tectonic sketch (after Żytko *et al.*, 1989)

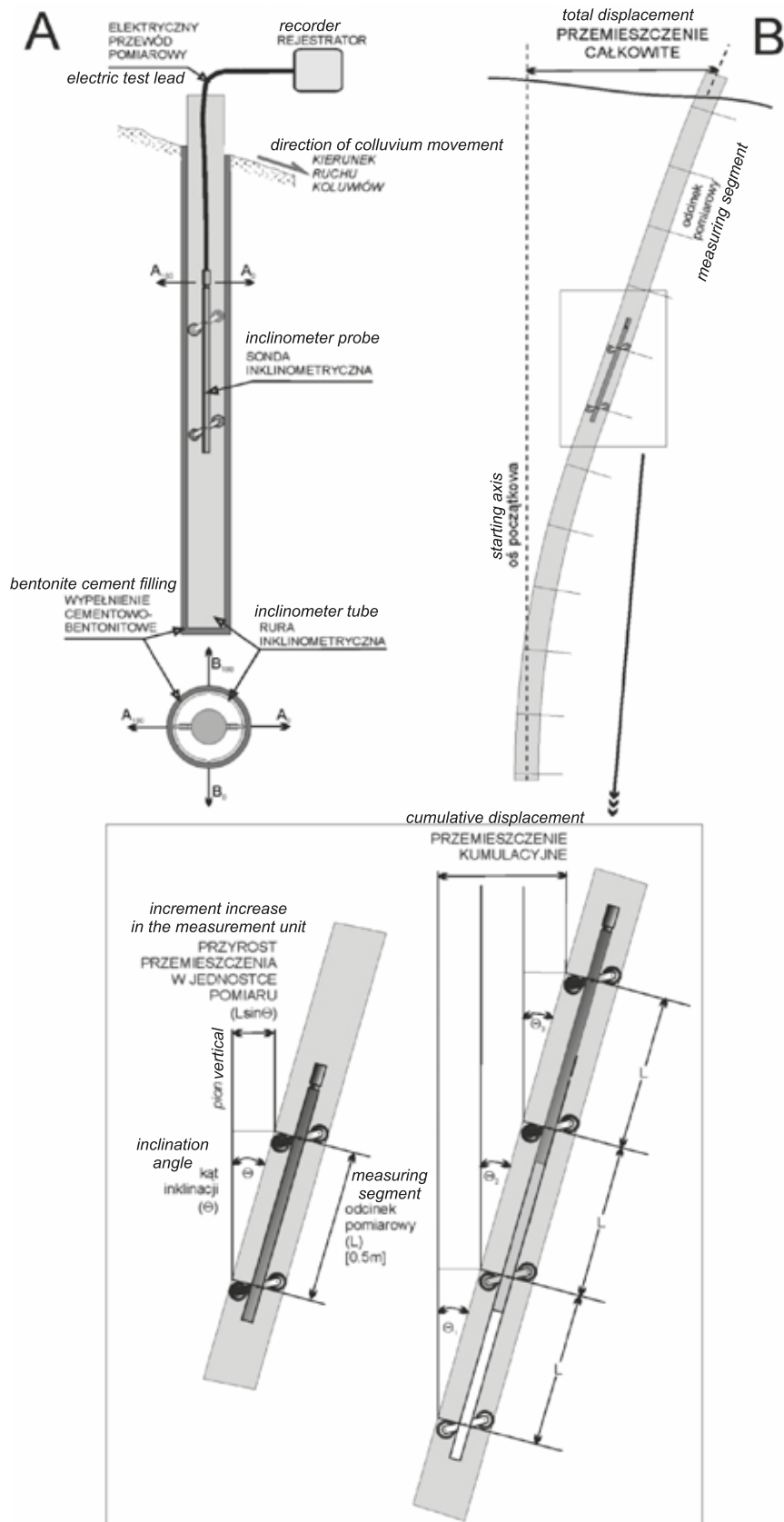


Fig. 2. Schemat obliczania przyrostów przemieszczeń na jednostkowych odcinkach pomiarowych oraz przemieszczenia kumulacyjnego otworu wiertniczego (<https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/sopo-baza-wiedzy/6330-metody-wglebne.html>)

Diagram for calculating displacement increments on individual measuring sections and displacement of the cumulative borehole (<https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/sopo-baza-wiedzy/6330-metody-wglebne.html>)

tot segmentowych stanów granicznych. Metoda jest oparta na spełnieniu warunków siły i momentu równowagi na poszczególnych segmentach. Segmenty tworzy się przez podział obszaru gruntu nad potencjalną powierzchnią poślizgu na płaszczyzny, które mogą posiadać różne nachylenie. Siły działające na poszczególne segmenty przedstawiono na schemacie statycznym – metoda Sarmy zmodyfikowana przez Hoeka (Sarma, 1973, 1979; Hoek, 1987; Sun i in., 2011; fig. 3).

Obliczenia równowagi granicznej wymaga rozwiązania $6n-1$ niewiadomych, gdzie n oznacza liczbę segmentów dzielących obszar gruntu nad potencjalną powierzchnią poślizgu.

E – siły pomiędzy segmentami

N – siły normalne działające na powierzchnię poślizgu

T – siły ścinające działające na powierzchnię poślizgu

X – siły ścinające pomiędzy segmentami

z_i, l_i – położenie punktów przyłożenia sił

l_i – położenie punktów przyłożenia sił

K – współczynnik przyspieszenia poziomego

W_i – ciężar segmentu

$K \times W_i$ – siła pozioma związana z obciążeniami dynamicznymi

a) równania siły poziomej równowagi na segmentach:

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i - Fx_i + X_{i+1} \sin \delta_{i+1} - X_i \sin \delta_i + E_{i+1} \cos \delta_{i+1} - E_i \cos \delta_i$$

b) równania siły pionowej równowagi na segmentach:

$$N_i \cos \alpha_i - T_i \sin \alpha_i = W_i - Fy_i + X_{i+1} \cos \delta_{i+1} - X_i \cos \delta_i - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} + E_i \sin \delta_i$$

c) równania momentu równowagi na segmentach:

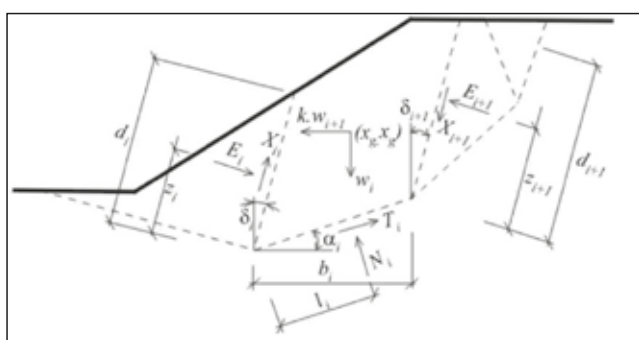


Fig. 3. Schemat statyczny – metoda Sarmy
(<https://www.finesoftware.pl/oprogramowanie-geotechniczne/statecznosc-zbocza>)

Static scheme – the method of Sarma
(<https://www.finesoftware.pl/oprogramowanie-geotechniczne/statecznosc-zbocza>)

$$N_{i+1} l_i - X_{i+1} b_i \sec \alpha_i \cos(\alpha_i + \delta_{i+1}) + E_{i+1} [z_{i+1} + b_i \sec \alpha_i \sin(\alpha_i + \delta_{i+1})] - E_i z_i - W_i (xg_i - x_i) + KW_i (yg - y_i) - Fx_i r_{xi} + Fy_i r_{yi} = 0$$

gdzie:

r_x i r_y są ramionami sił F_x i F_y

d) związek pomiędzy siłami normalną a ścinającą zgodnie z teorią Mohra–Coulomba:

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i b_i \sec \alpha_i$$

$$X_i = (E_i - PW_i) \tan \bar{\varphi}_i + \bar{c}_i d_i$$

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ I UWARUNKOWANIA GEOLOGICZNE RUCHÓW MASOWYCH NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH OSUWISK

W Polsce rejonem najbardziej predysponowanym do występowania osuwisk są Karpaty (Bober, 1984), czemu sprzyja budowa geologiczna – naprzemianległe występowanie piaskowców i łupków oraz zaburzenia tektoniczne – i morfologia terenu. Poza obszarem Karpat osuwiska występują głównie w obrębie zboczy większych dolin rzecznych, wzdłuż klifowego wybrzeża Bałtyku, a także na obszarach pokrytych miększymi pokrywami lessów i na terenach o rzeźbie młodoglacjalnej.

Na podstawie bazy danych SOPO oraz wybranych kryteriów geologicznych i morfometrycznych, opracowano mapę podatności osuwiskowej Polski (Wojciechowski, 2019), z której wynika, że blisko 20% terenu Polski można uznać za podatną na wpływy procesów osuwiskowych. Do terenów o bardzo dużej podatności osuwiskowej poza obszarem Karpat można zaliczyć: Wyżynę Śląską, Krakowską, Małopolską i Lubelską, a także niektóre obszary Sudetów (m.in. Góry Bardzkie i Góry Kamienne) oraz strefy zboczy dolin rzecznych.

Należy podkreślić, że dotychczasowe prace potwierdzają występowanie osuwisk o różnym wieku (Margielewski, 2003; Margielewski i in., 2011). Osuwisko w Kłodnym k. Limanowej jest przykładem dużego współcześnie utworzonego (w 2010 r.) osuwiska skalnego (Perski i in., 2014). Niektóre z osuwisk charakteryzują się wieloma etapami rozwoju. Istnieją osuwiska wykazujące wielokrotną aktywność w czasie holocenu. Na podstawie oznaczeń wieku metodą izotopu ^{14}C próbowano wyznaczyć „okresy osuwiskowe” w holocenie (Margielewski, 2003).

W 1999 r. opublikowano kompleksowe opracowanie, które obejmowało modelowanie i obliczenia stateczności zboczy na przykładzie osuwisk w Karpatach (Zabuski i in., 1999), zestawiono także katalogowo dane geologiczne i geologiczno-inżynierskie (Bober i in., 1997). Obliczenia stateczności przeprowadzono różnymi metodami przy jednoczesnym określaniu wpływu poszczególnych części składowych na stateczność ogólną osuwiska. Brano pod

uwagę głównie parametry wytrzymałościowe, które mają zasadniczy wpływ na stateczność ogólną osuwisk.

Czynniki wpływające na rozwój osuwisk określa się jako bierne i aktywne. Czynniki bierne uzależnione są od budowy geologicznej, morfologii terenu, tektoniki, szaty roślinnej itp. Do czynników aktywnych zalicza się intensywność i długość opadów atmosferycznych, warunki hydrogeologiczne, podcięcie zbocza, dociążanie stoków przez obiekty kubaturowe czy też nasypy itp. (Scheidegger, 1974). Najczęściej ruch osuwiskowy następuje przy udziale oddziaływań zarówno aktywnych, jak i biernych. Głównym czynnikiem biernym jest budowa geologiczna, którą szczegółowo scharakteryzowano dla poszczególnych obszarów osuwiskowych w zależności od jednostek tektonicznych (Bober, 1984).

Osuwisko w Starym Sączu jest zlokalizowane w rejonie ulic Stromej oraz Żwirki i Wigury (fig. 4). Obszar badań jest zaliczany do jednostki magurskiej, a w podłożu osuwiska stwierdzono warstwy z Maszkowic składające się z gruboławicowych, szarogłazowych, gruboziarnistych piaskowców o spoiwie węglanowym (Oszczytko, 1979; Oszczytko,

Wójcik, 1993; Wójcik i in., 1995; Chowaniec, Wójcik, 2012).

Dolna część ulicy Stromej, w pobliżu skrzyżowania z ulicą Żwirki i Wigury, jest zabezpieczona murami oporowymi o niedostatecznej głębokości posadowienia, które są splekane i przesunięte na skutek naporu osuwających się koluwiów osuwiskowych. Podobne zabezpieczenie wskazujące na wcześniejszą aktywność osuwiska znajdują się wzdłuż południowo-zachodniej strony ulicy Żwirki i Wigury. Na terenie osuwiska są zlokalizowane liczne budynki mieszkalne i gospodarcze. Na skutek uaktywnienia osuwiska wykwaterowano mieszkańców jednego budynku, a także zaobserwowano liczne splekania na innych obiektach. Wpływ ruchu mas ziemnych zaobserwowano również w studniach, w których przemieszczeniu uległy 2–3 górne kręgi (fig. 5).

Osuwisko znajduje się w NE części stoku Miejskiej Góry. Rozpoczyna się wyraźną skarpią główną o wysokości 2,0 m i maksymalnym nachyleniu 19°, usytuowaną na rzędnej ok. 345 m n.p.m. (fig. 4, 5). Rzeźba koluwium jest urozmaicona. Występują w jej obrębie skarpy wewnątrzosuwi-

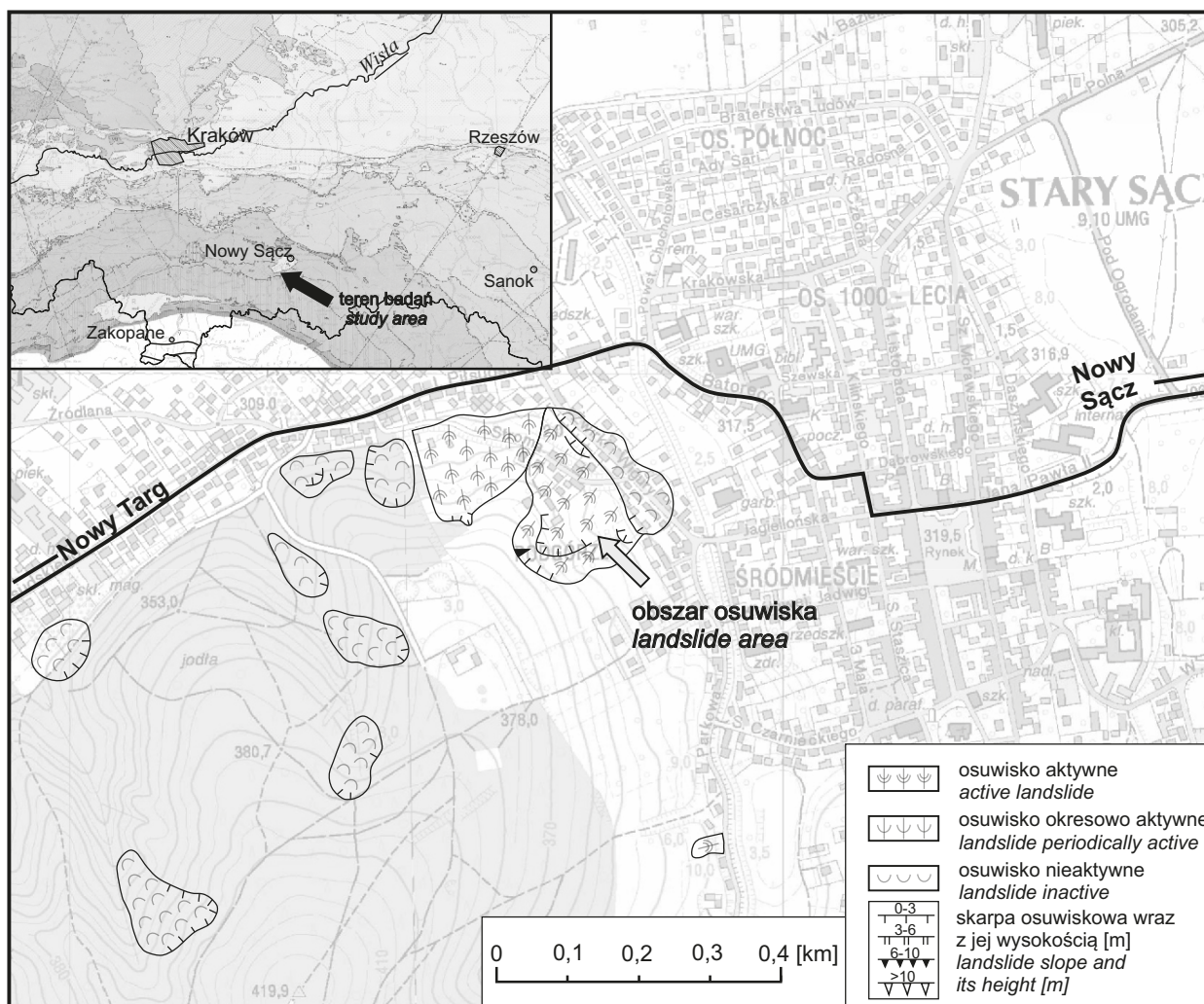


Fig. 4. Lokalizacja osuwiska w Starym Sączu (wg Koluch, Nowicka, 2014 – zmieniona)

Location of landslide in Stary Sącz (after Koluch, Nowicka, 2014 – modified)

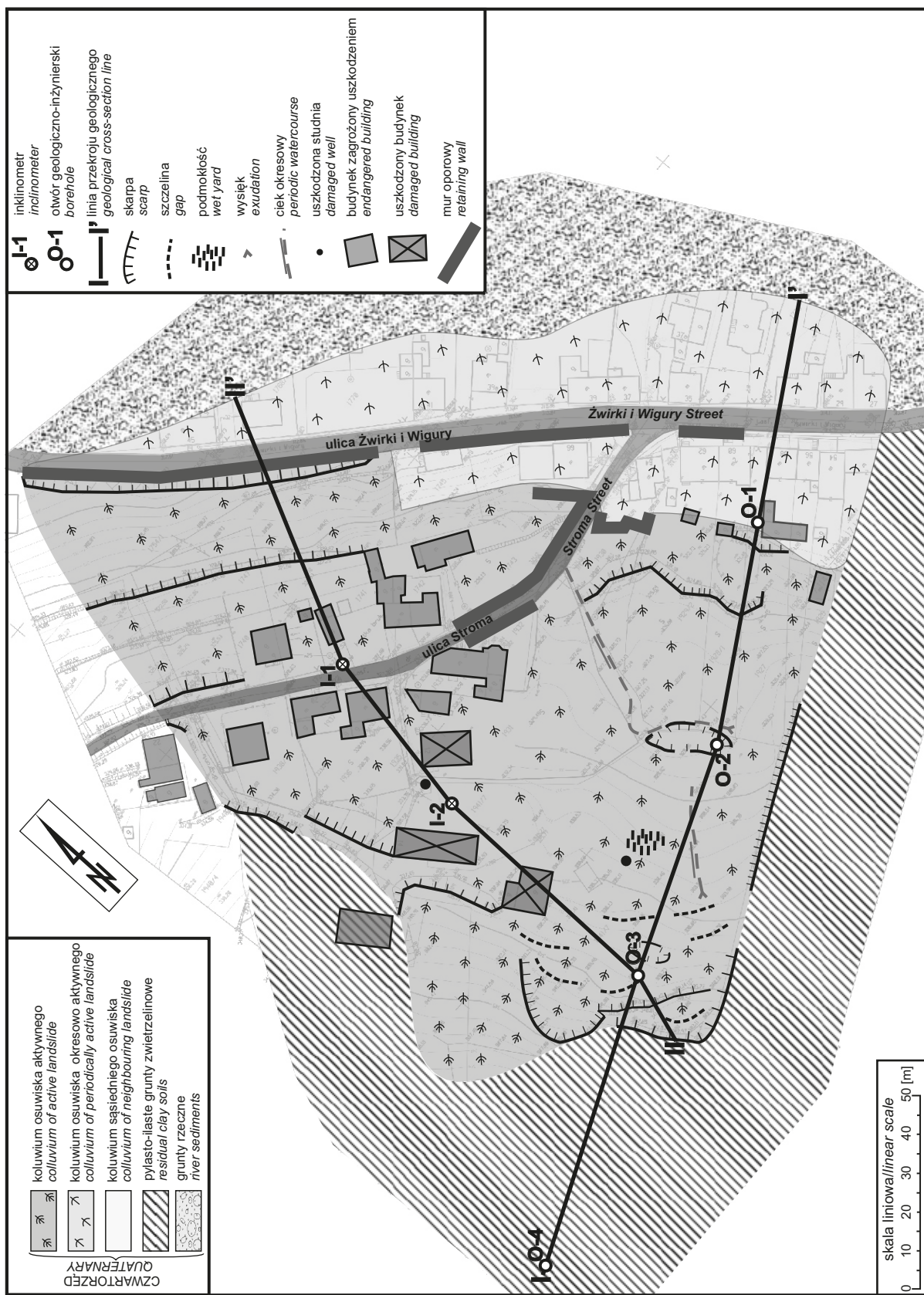


Fig. 5. Mapa geologiczno-inżynierska osuwiska w Starym Sączu

Geological-engineering map of landslide in Stary Sącz

skowe, progi, spłaszczenia i zagłębienia. Skarpa główna osuwiska o wysokości ok. 2 m występowała w odległości kilkudziesięciu metrów od uszkodzonego budynku. W rejonie czoła osuwiska, które częściowo zabezpieczono murami oporowymi, obserwowano zniekształcenia powierzchni terenu, a także przechylenia ogrodzeń, spękania i przechylenia murów oporowych oraz spękania budynków, zwłaszcza gospodarczych (fig. 5). Na terenie osuwiska wykonano sześć otworów geologiczno-inżynierskich o głębokości od 11,0 do 20,5 m (fig. 6, 7; Kos i in., 2012). Wydzielono aktywną i nieaktywną część osuwiska (fig. 5). Na podstawie analizy rdzeni wiertniczych i powierzchni ścięcia wyróżniono dwie powierzchnie poślizgu (fig. 6, 7). Poniżej ulicy Żwirki i Wigury nie stwierdzono przejawów aktywności osuwiska.

Osuwisko w miejscowości Jaszczurowa (fig. 1, 8, 9) należało do okresowo aktywnych. Rozwinęło się w lewej części doliny Skawy, gdzie przebiega droga krajowa nr 28. Zostało ono zabezpieczone i obecnie poniżej drogi znajduje się zbiornik wodny Świnna Poręba. Dwa fragmenty osuwiska, znajdujące się poniżej korpusu drogi, zostały odmlodzone na przełomie maja i czerwca 2010 r. Dodatkowo w obrębie korpusu drogi krajowej, po jego północno-wschodniej stronie, dochodziło sukcesywnie do uszkodzeń w postaci niewielkich zniekształceń oraz nierówności i wybrzuszeń w obrębie skarp nasypu. Osuwisko rozpoczynało się powyżej drogi krajowej nr 28 skarpą główną o wysokości 1–3 m. Nad nią, na terenie zagrożonym ruchami osuwiskowymi znajdują się budynki mieszkalne i gospodarze wraz z drogą dojazdową do posesji. W obrębie osuwiska wyróżniono część dolną i górną. Górna, okresowo aktywna strefa osuwiska, znajdująca się powyżej drogi krajowej była częściowo przekształcona antropogenicznie. Dolna część osuwiska znajdowała się poniżej drogi krajowej i sięgała swym jeziorem zbiornika wodnego Świnna Poręba, utworzonego na rzece Skawa. Projektowana maksymalna rzędna piętrzenia wynosiła 312 m n.p.m. i sięgała górnej części stref aktywnych osuwiska. Osuwisko było położone na stoku o ekspozycji NE (fig. 8), o powierzchni ok. 2,55 ha i na przeważającym terenie było okresowo aktywne. Strefy aktywne rozpoczynały się kilkumetrowymi, postępującymi w górę skarpami głównymi i były ograniczone wyraźnymi skarpami bocznymi (fig. 9). Dodatkowo, charakteryzowały się licznymi objawami występowania czynnych procesów osuwiskowych, takimi jak: skarpy wtórne, nierówności i progi, a także podmokłości i wysięki wraz z okresowo występującymi ciekami poniżej korpusu drogowego (fig. 9).

W celu rozpoznania warunków geologicznych na terenie osuwiska przeprowadzono badania geologiczno-inżynierskie (Kos i in., 2013a). Wykonano 10 otworów geologiczno-inżynierskich o głębokości od 11,0 do 28,0 m (fig. 9), która była uzależniona od występowania płaszczyny poślizgu.

Obszar osuwiska pod względem geologicznym należy do płaszczowiny śląskiej. Budują go utwory kredy górnej–paleogenu, pokryte gruntami czwartorzędowymi (Książkiewicz, 1972). Utwory kredowe są reprezentowane głównie przez piaskowce i łupki warstw godulskich górnych. W trakcie badań strop warstw godulskich górnych stwierdzono tuż pod gruntami koluwalnymi na głębokości od 7,0 do 26,7 m p.p.t.

Utwory fliszowe w rejonie osuwiska są wykształcone jako piaskowce i łupki, miejscami iłolupki. Zazwyczaj są silnie spękane i najczęściej występują w postaci różnej wielkości okruchów zwietrzałych piaskowców i łupków, w zmiennych proporcjach ilościowych. W części górnej profilu znaczny udział ma materiał pylasto-ilasty o barwie brązowej, brązowo-szarej i szarej, charakteryzujący się plastycznym stanem konsystencji. Piaskowce są średnioziarniste, spękane, o barwie szarej i szaropopielatej. Łupki są natomiast ciemnoszare, wyraźnie łamliwe i rozsypliwe. Zapadają one pod kątem rzędu 20–30°.

Koluwia osuwiska obejmują zarówno grunty nasypowe, pokrywę zwietrzelinową, jak i utwory fliszowe. Utwory antropogeniczne to mieszanina iłu, piasku, kamieni i żwiru, z których usypany został nasyp drogowy, a bezpośrednio na terenie drogi także asfalt. Pokrywa zwietrzelinowa jest wykształcona w postaci spoistych utworów ilasto-pylastych z bardzo licznymi okruchami zwietrzałych skał podłoża. W koluwium występowała także stosunkowo gruba warstwa rumoszy piaskowca i łupka ze znacznym udziałem frakcji mniejszych. Łączna miąższość koluwium osuwiskowego wynosiła od 7,0 do 26,7 m (fig. 10–12).

Woda infiltrująca przez niewystarczająco zagęszczony nasyp drogowy powodowała uplastycznienie i obciążenie występujących w jego obrębie gruntów, co przyczyniło się do powstawania licznych deformacji w obrębie nasypu, m.in. nierówności, wybrzuszeń, niewielkich oberwań czy szczelin. Powstawanie wspomnianych deformacji najprawdopodobniej było związane z występowaniem niewystarczającego i nieszczelnego odwodnienia terenu, znajdującego się powyżej drogi oraz braku wymaganego wskaźnika zagęszczenia gruntów nasypowych budujących korpus drogi.

Osuwisko w Ochojnie zniszczyło fragment drogi powiatowej nr 2167K relacji Zbydniowice–Ochojno–Rzeszotary (fig. 1, 13). Jest ono położone na terenie Pogórza Wielkiego (Starkel, 1973). Obszar, na którym znajduje się osuwisko jest silnie zaangażowany tektonicznie i znajduje się w strefie nasunięcia karpackiego na zapadlisko przedkarpackie w obrębie płaszczowiny podśląskiej. Strefa ta charakteryzuje się m.in. występowaniem licznych uskokuw przesuwczych (Paul i in., 1996).

Osuwisko znajduje się na obszarze zlewni potoku Doryk, który jest lewobrzeżnym dopływem Wilgi (fig. 13). W wyniku ruchów osuwiskowych droga powiatowa uległa uszkodzeniu w dwóch miejscach (fig. 13, 14). Zaznaczały się jako obniżone progi równoległe do korpusu drogi, a przemieszczenia gruntów sięgają dna doliny. Ponadto stwierdzono spękania na budynkach mieszkalnych położonych na zboczu powyżej drogi (fig. 15). Osuwisko ma kierunek zbliżony do równoleżnikowego, wydłużony kształt i kierunek ruchu ku zachodowi. Rozpoczyna się niskimi oraz częściowo przekształconymi antropogenicznie skarpami. W jego obrębie wyróżniono obszary aktywne, okresowo aktywne i nieaktywne (fig. 13, 16). Drogę powiatową tymczasowo zabezpieczono za pomocą narzutu kamiennego, lecz nie przyniosło to spodziewanego rezultatu. Zaobserwowano wyraźne odspojenia pomiędzy jezdnią asfaltową a wykonanym narzutem, w postaci szczelin o głębokości dochodzącej do

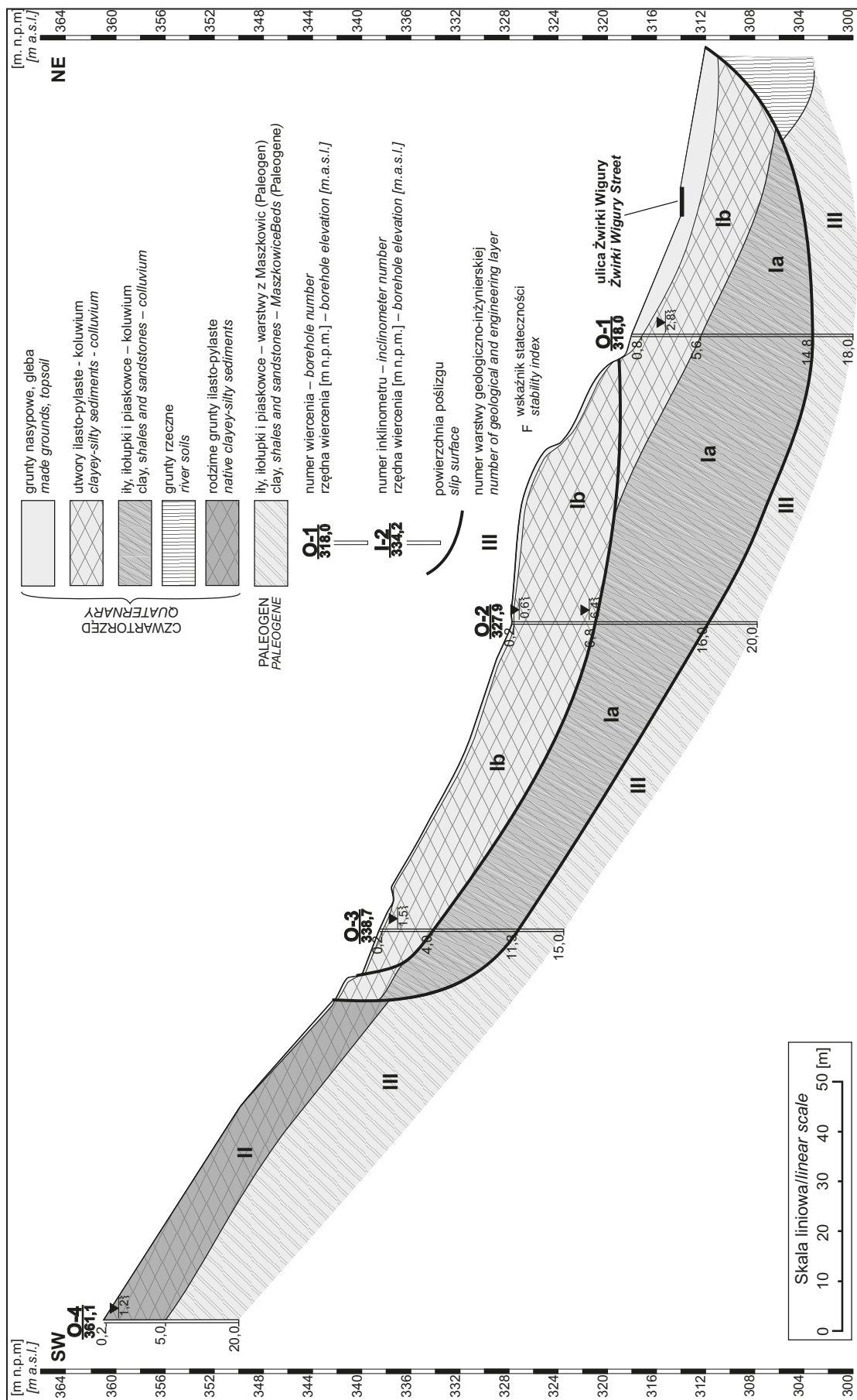


Fig. 6. Przekrój geologiczno-inżynierski I-I' osuwiska w Starym Sączu
 Geological-engineering cross-section I-I' of landslide in Stary Sącz

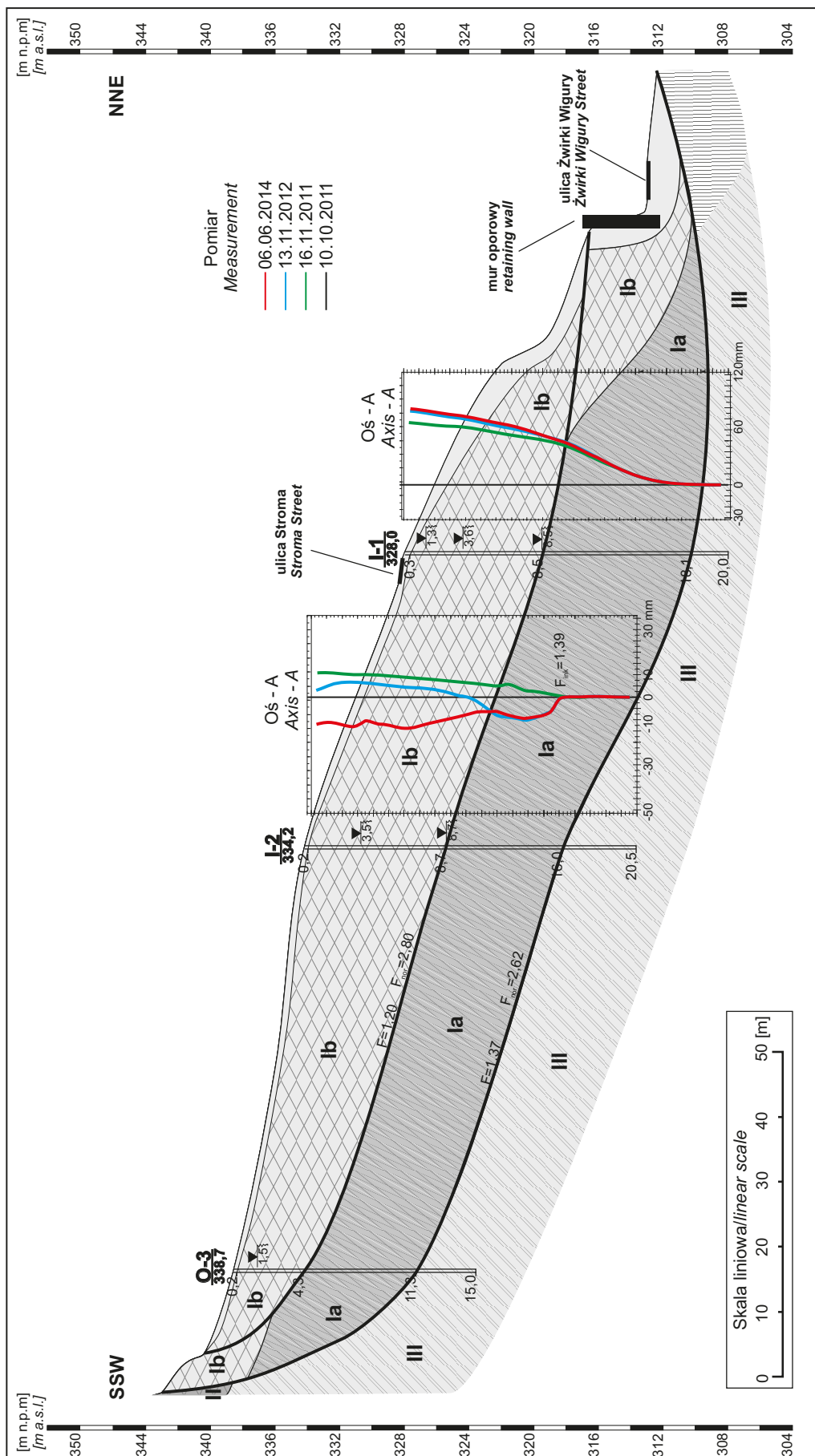


Fig. 7. Przekrój geologiczno-inżynierski II-II' osuwiska w Starym Sączu (objaśnienia jak na fig. 6)

Geological-engineering cross-section II-II' of landslide in Stary Sącz (for explanations see Fig. 6)

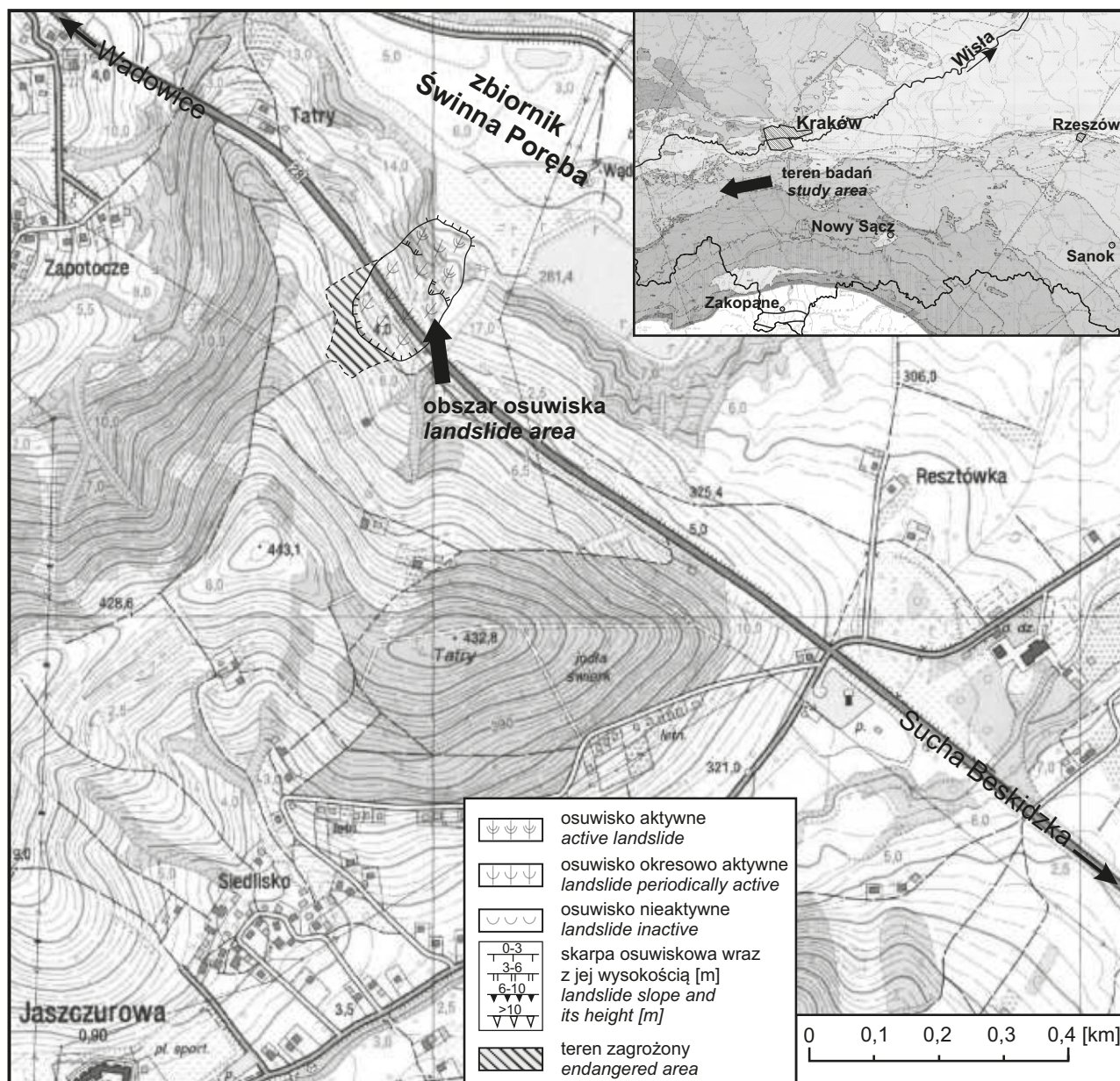


Fig. 8. Lokalizacja osuwiska w Jaszczurowej

Location of landslide in Jaszczurowa

20–30 cm (fig. 14). Poniżej drogi powiatowej obserwowano wyraźne skarpy wtórne, progi wewnątrzosuwiskowe, szczeliny, zagłębienia bezodpływowe i podmokłości. Na terenie jezora osuwiskowego występowały lokalnie podmokłości, zasilane przez ciekły okresowe, których początek stanowią wysięki wypływające u podnóża skarpy drogowej. W części zadrzewionej osuwiska występował efekt tzw. „pijanego lasu”. Koluwia wyraźnym czołem nasuwały się na aluwia potoku Dorzyk (fig. 16). W celu rozpoznania warunków geologicznych, na terenie osuwiska wykonano 6 otworów geologiczno-inżynierskich o głębokości od 15,0 do 31,0 m (fig. 16–18; Kos i in., 2013b). W celu precyzyjnego określenia tempa i głębokości przemieszczania się koluwiów osuwiska w otworach O-3_I, O-4_I i O-5_I zamontowano ko-

lumny rur inklinometrycznych o średnicy \varnothing 70 mm. Otwory inklinometryczne rozmieszczono w miejscach, gdzie spodziewano się największych przemieszczeń osuwiskowych (fig. 16).

Osuwisko w Sadowiu znajdowało się po zachodniej stronie wkopu wzdłuż linii kolejowej Kraków–Warszawa (fig. 1, 19, 20). Jego początki były związane z budową linii kolejowej oddanej do eksploatacji w 1934 r. W wyniku działalności człowieka powstał sztuczny wykop, którym przeprowadzono tory (fig. 20).

Uaktywnienie procesów osuwiskowych miało miejsce kilkakrotnie. Historia badań była przedstawiana m.in. przez Bażyńskiego i Frankowskiego (1977) oraz Wójcika i Kosa (2017).

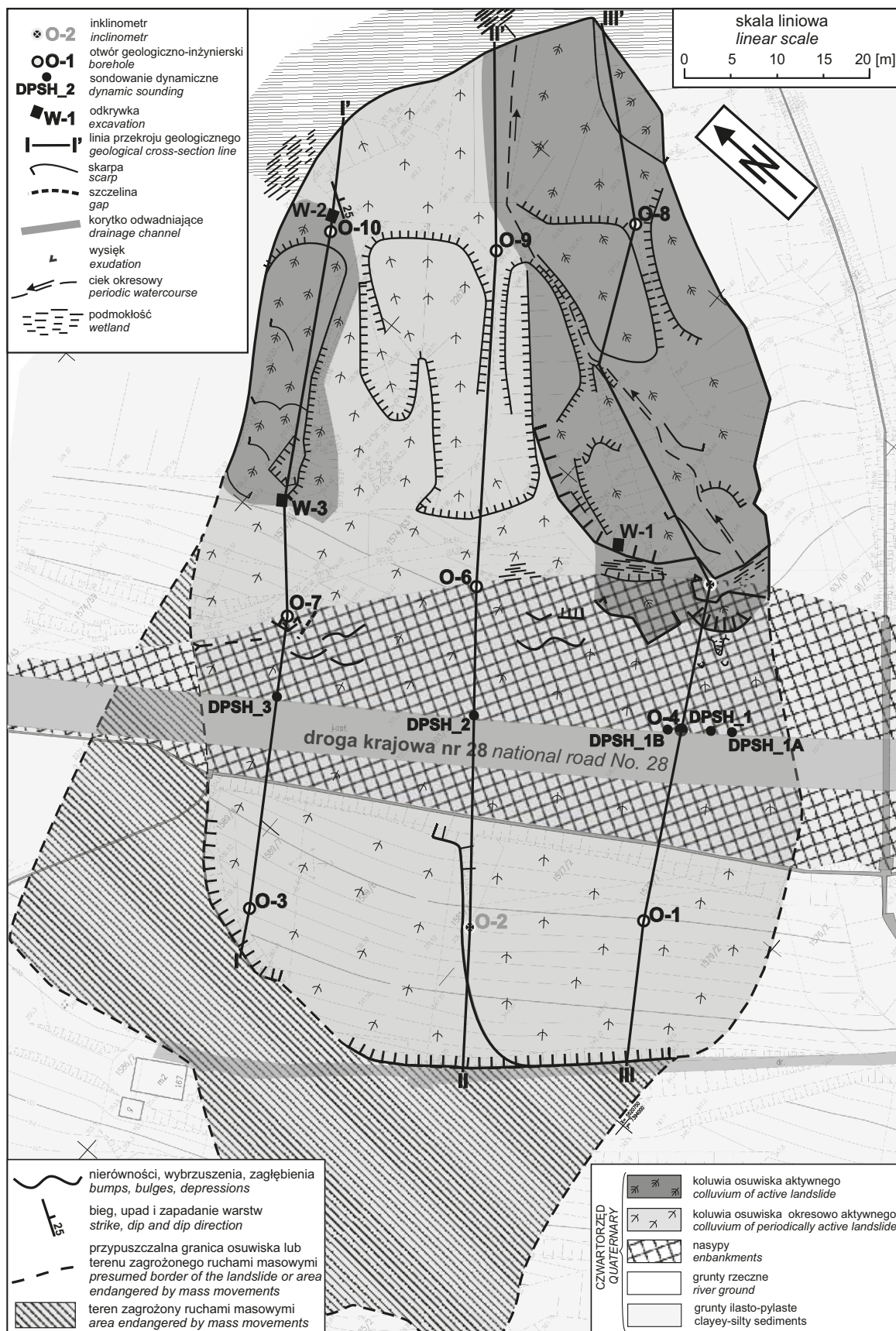


Fig. 9. Mapa geologiczno-inżynierska osuwiska w Jaszczurowej

Geological-engineering map of landslide in Jaszczurowa

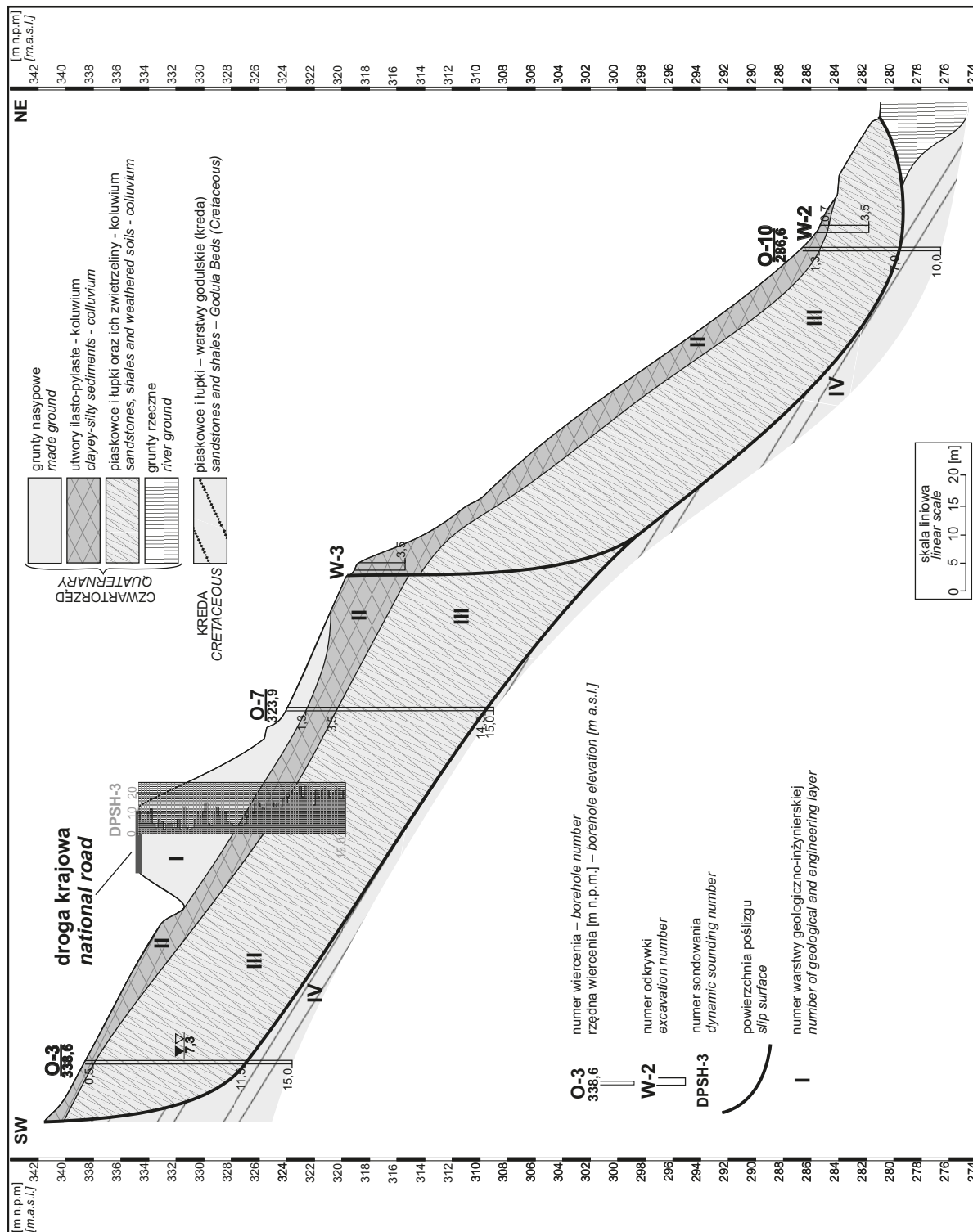


Fig. 10. Przekrój geologiczno-inżynierski I-I' osuwiska w Jaszczurowej

Geological-engineering cross-section I-I' of landslide in Jaszczurowa

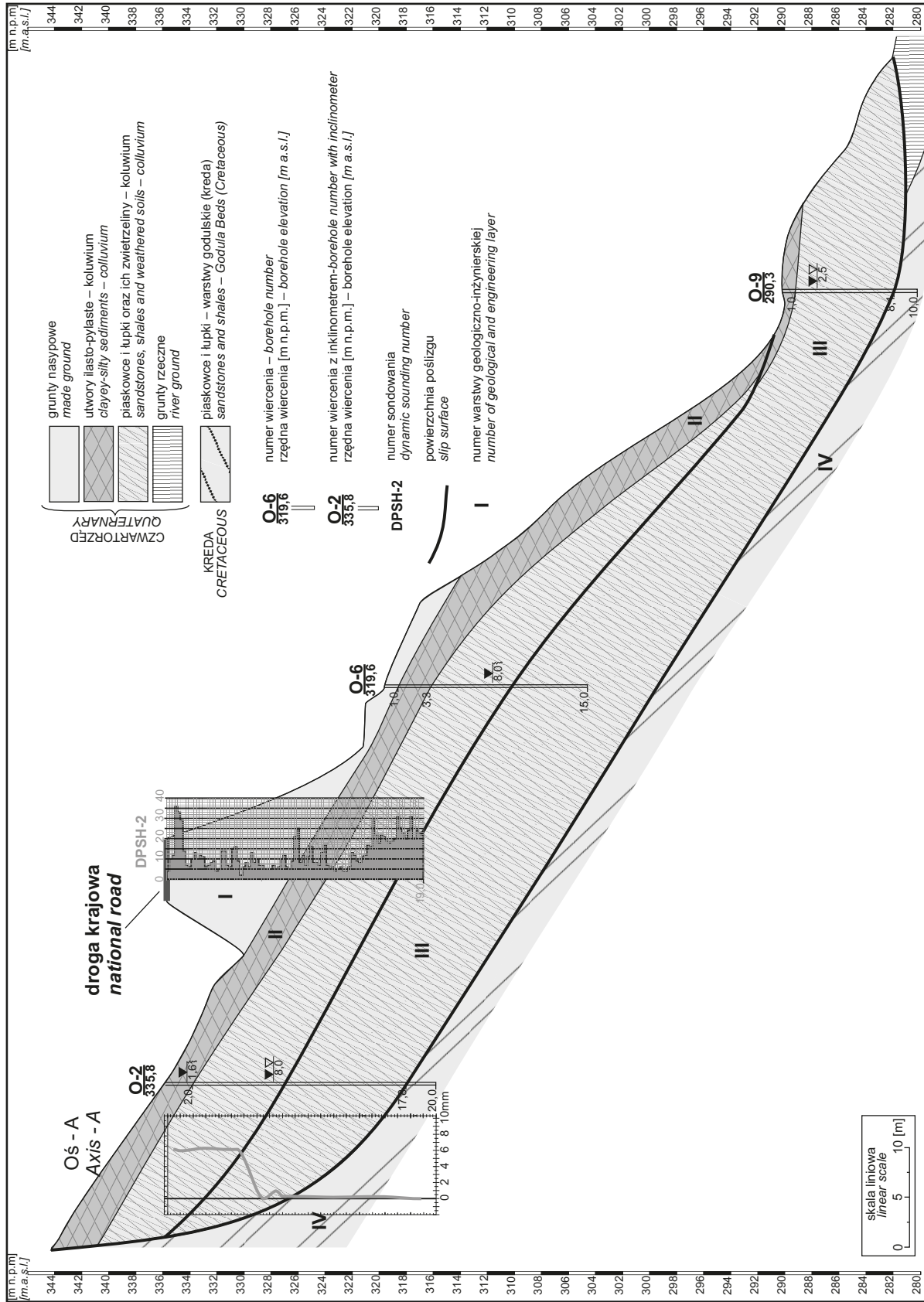


Fig. 11. Przekrój geologiczno-inżynierski II-II' osuwiska w Jaszczurowej

Geological-engineering cross-section II-II' of landslide in Jaszczurowa

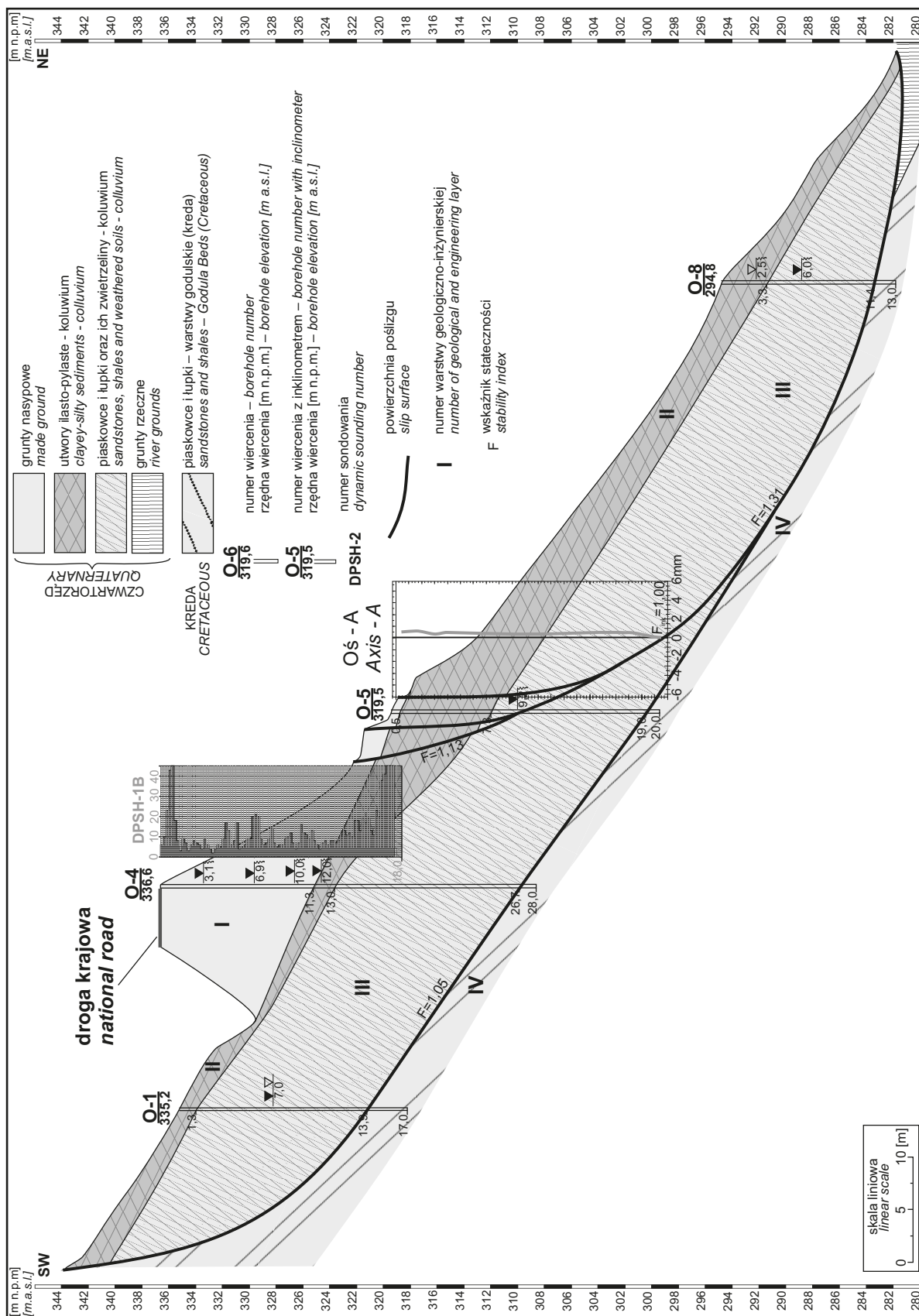


Fig. 12. Przekrój geologiczno-inżynierski III-III' osuwiska w Jaszczurowej

Geological-engineering cross-section III-III' of landslide in Jaszczurowa

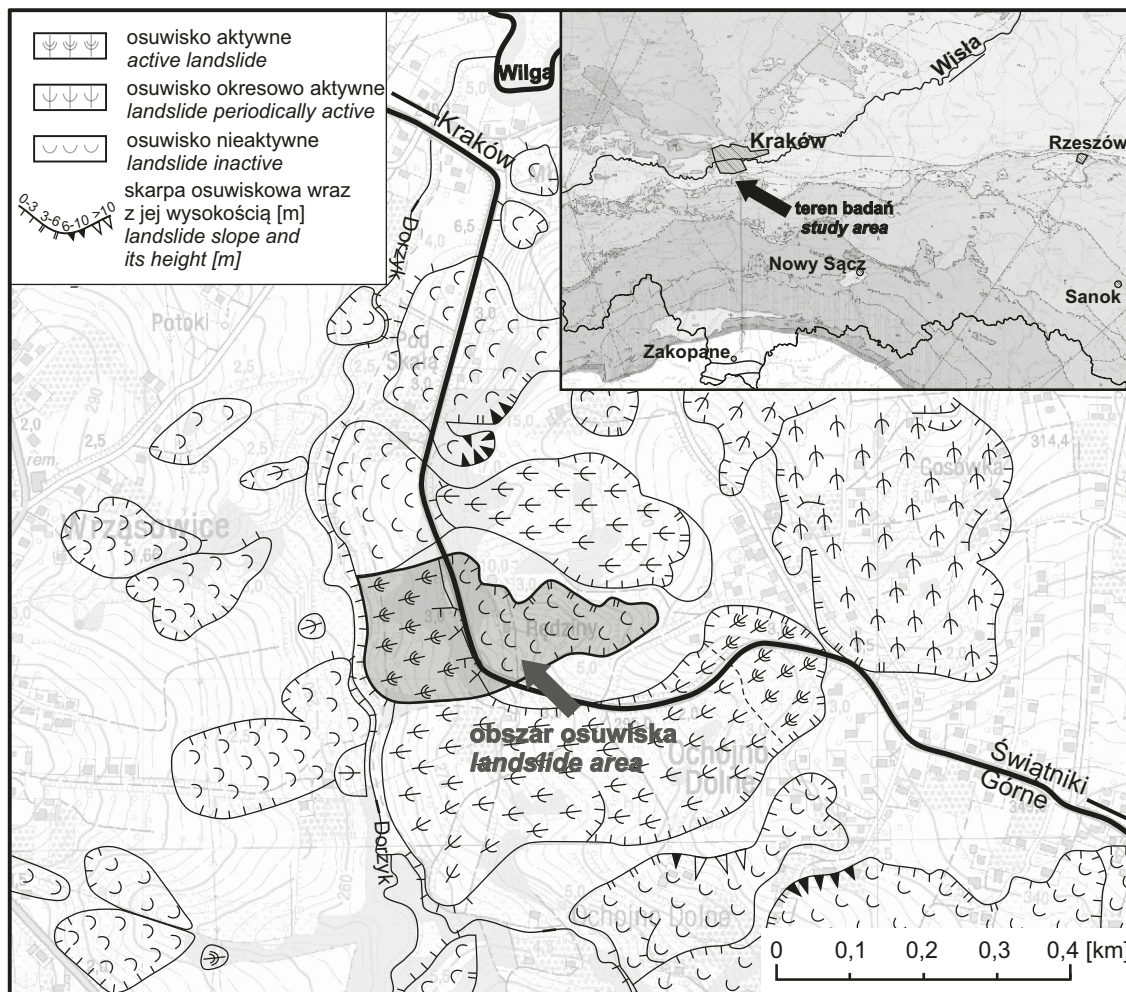


Fig. 13. Lokalizacja osuwiska w Ochojnie (wg Wójcik, Warmuz, 2009 – zmienione)

Location of landslide in Ochojno (after Wójcik, Warmuz, 2009 – modified)

W wyniku przeprowadzonych prac stabilizacyjnych nie obserwuje się propagacji skarpy głównej czy też przemieszczeń w innych obszarach osuwiska. Wszelkie historyczne zabezpieczenia tego terenu koncentrowały się głównie na utworach czwartorzędowych, przez co wykonywane prace stabilizacyjne okazywały się nieskuteczne.

Przekop kolejowy poprowadzono wzdłuż wąwozu od strony południowej przez obniżenie wzdłuż wschodniego zbocza wzgórza (fig. 19). Głębokość przekopu wynosiła ok. 13 m, a na skutek osuwania się zboczy jego szerokość rozszerzyła się znacznie, szczególnie po stronie zachodniej. Układ geologiczny osuwiska jest asekwentny – powstało ze ścięcia w jednorodnych i niezaburzonych mioceńskich utworach ilastych.

W 2010 r. w wyniku zsuwu mas ziemnych została uszkodzona droga gminna oraz tory kolejowe – szlak Niedźwiedź–Zastów (fig. 20). W obrębie drogi gminnej na długości ok. 160 m została zerwana część nawierzchni asfaltowej (fig. 21), a w późniejszym okresie przestała być ona przejezdna. Zsuwający materiał spowodował uszkodzenie torów kolejowych, wypychając ku górze dno wykopu wraz z torem kolejowym na długości ok. 400 m (fig. 22).

Przyczyn rozwoju procesów osuwiskowych należy upatrywać głównie w czynnikach związanych z działalnością ludzką. W wyniku wykonania głębokiego przekopu usunięto część masywu, przez co przyległe obszary utraciły równowagę na skutek odciążenia. Przekop spowodował przepływ wód gruntowych, występujących w strefie kontaktu utworów czwartorzędowych i ilów mioceńskich, które zostały odsłonięte na znacznej przestrzeni w jego dnie. Procesy osuwiskowe miały miejsce w warstwie mokrych utworów lessopodobnych. Przemieszczeniu uległa również górna partia ilów mioceńskich, w obrębie których występowały aktywne powierzchnie poślizgu – strefy ścięcia.

Osuwisko jest zlokalizowane w obrębie niecki miechowskiej na obrzeżach zapadliska przedkarpackiego. W budowie geologicznej biorą udział utwory kredowe (margle), mioceńskie (iły) oraz czwartorzędowe (Boratyn, Brud, 1993). Najstarsze utwory – margle kredowe (senon) odsłaniają się na powierzchni przy cmentarzu w Sadowiu oraz w stromowiętych zboczach wąwozu kolejowego (fig. 20). Miąższość utworów mioceńskich lokalnie może dochodzić do ok. 30 m. Prawdopodobnie w tym rejonie nastąpiło erozyjne obniżenie



Fig. 14. Uszkodzona droga powiatowa na osuwisku w Ochojnie

Damaged district road on the landslide in Ochojno



Fig. 15. Spękania budynku mieszkalnego na osuwisku w Ochojnie

Cracks of residential building on the landslide in Ochojno

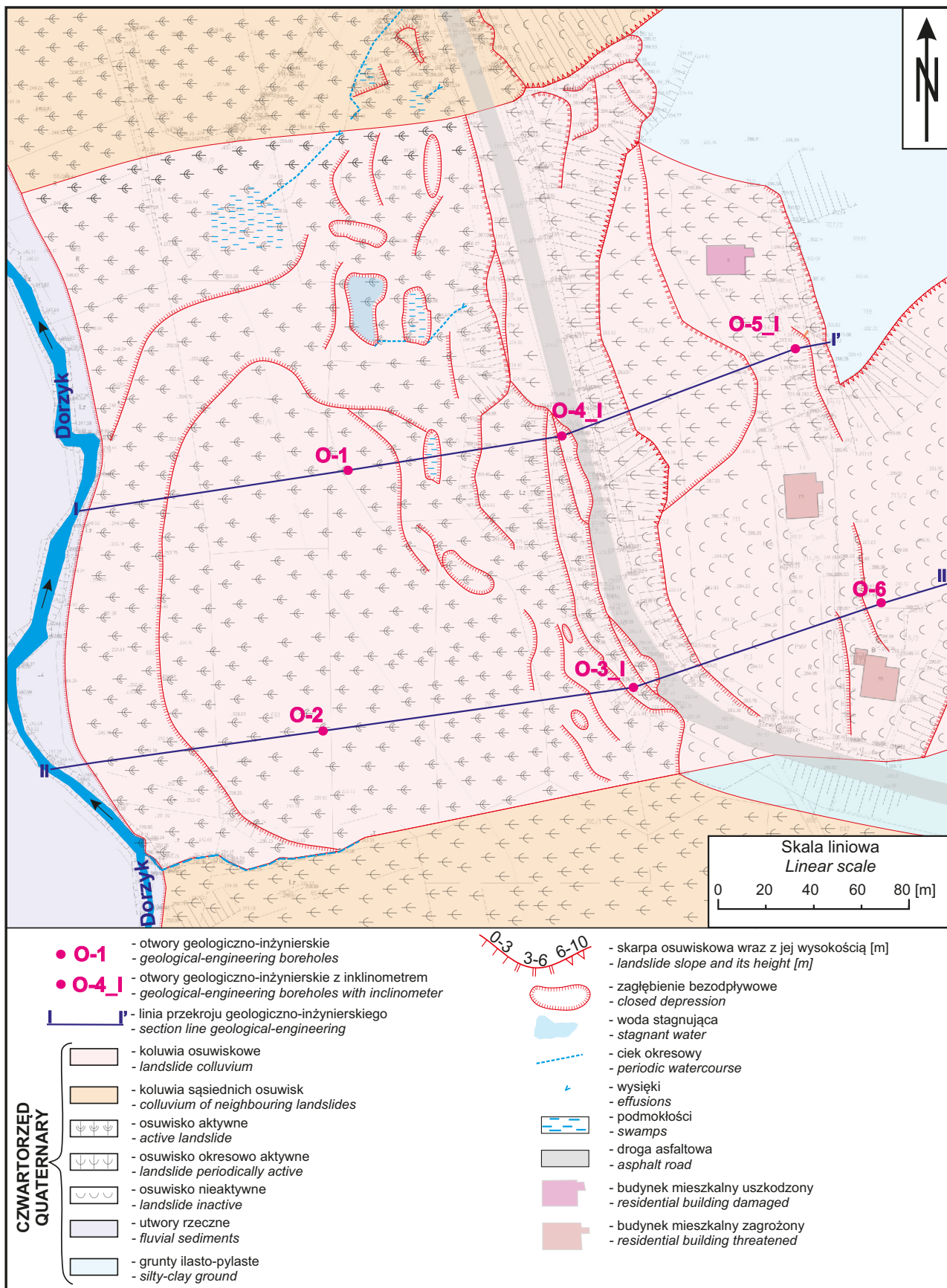


Fig. 16. Mapa geologiczno-inżynierska osuwiska w Ochojnie

Geological-engineering map of landslide in Ochojno

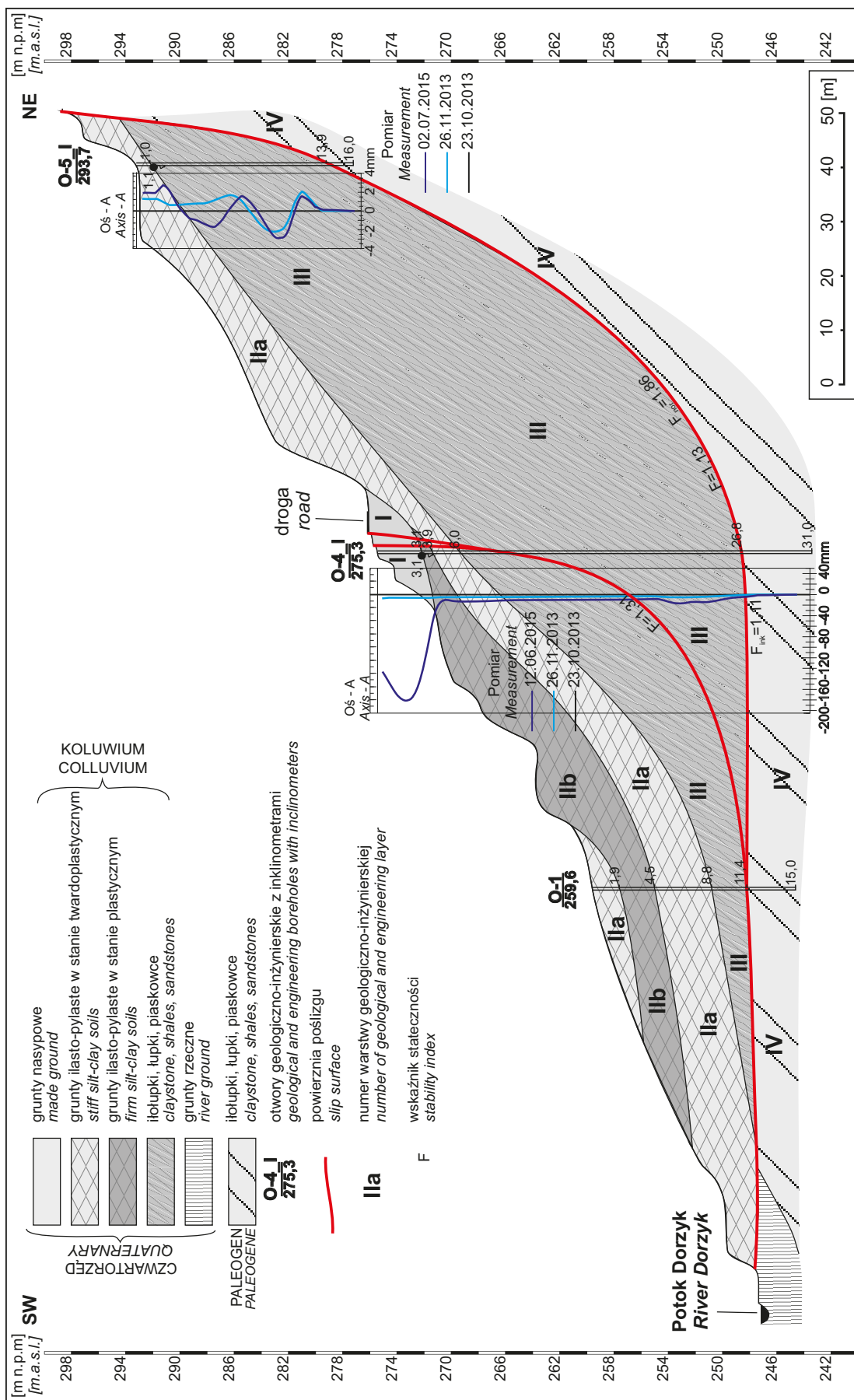


Fig. 17. Przekrój geologiczno-inżynierski I-I' osuwiska w Ochojnie

Geological-engineering cross-section I-I' of landslide in Ochojnie

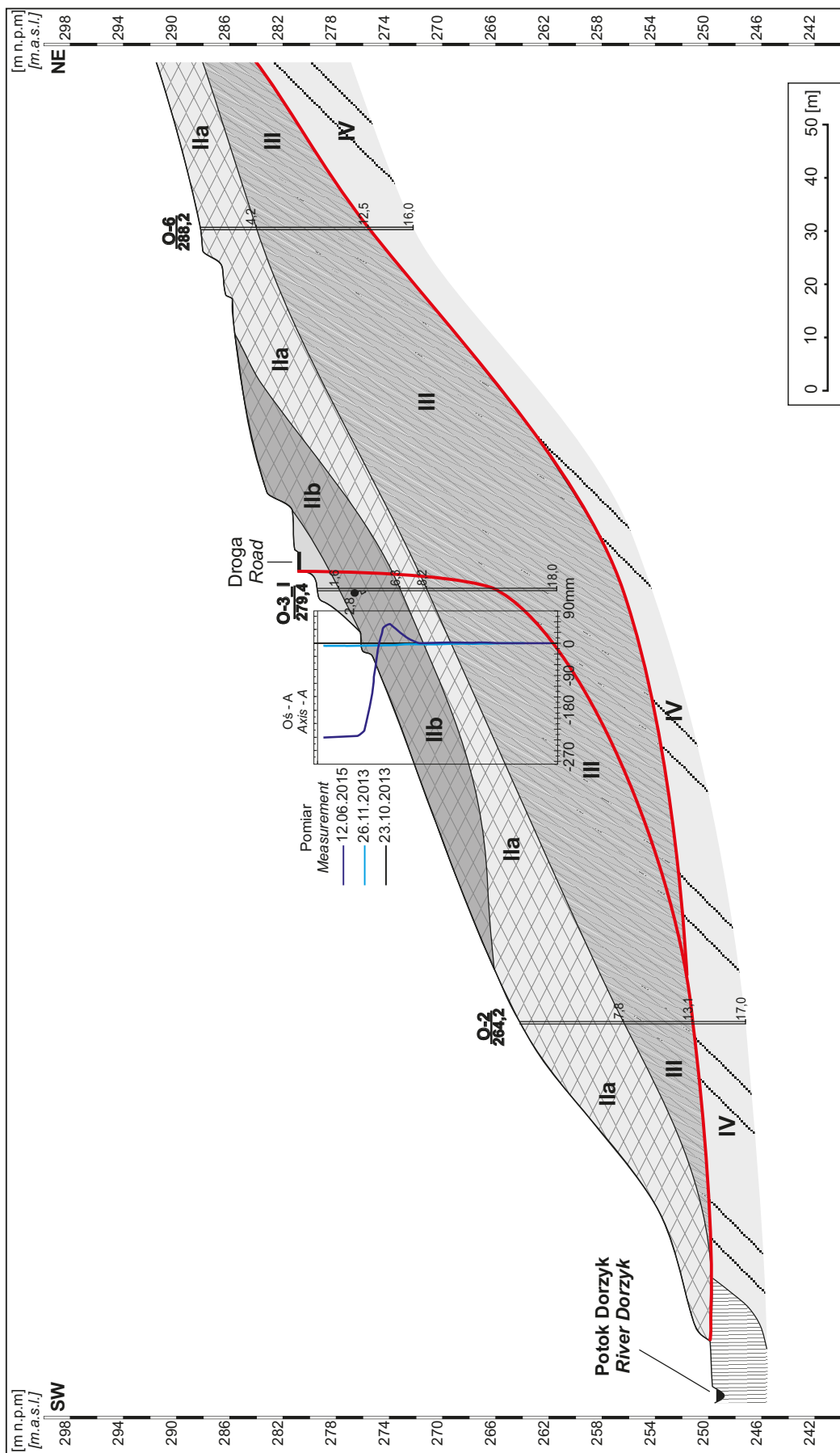


Fig. 18. Przekrój geologiczno-inżynierski II-II' osuwiska w Ochojnie (objaśnienia jak na fig. 17)

Geological-engineering cross-section II-II' of landslide in Ochojnie (explanations on fig. 17)

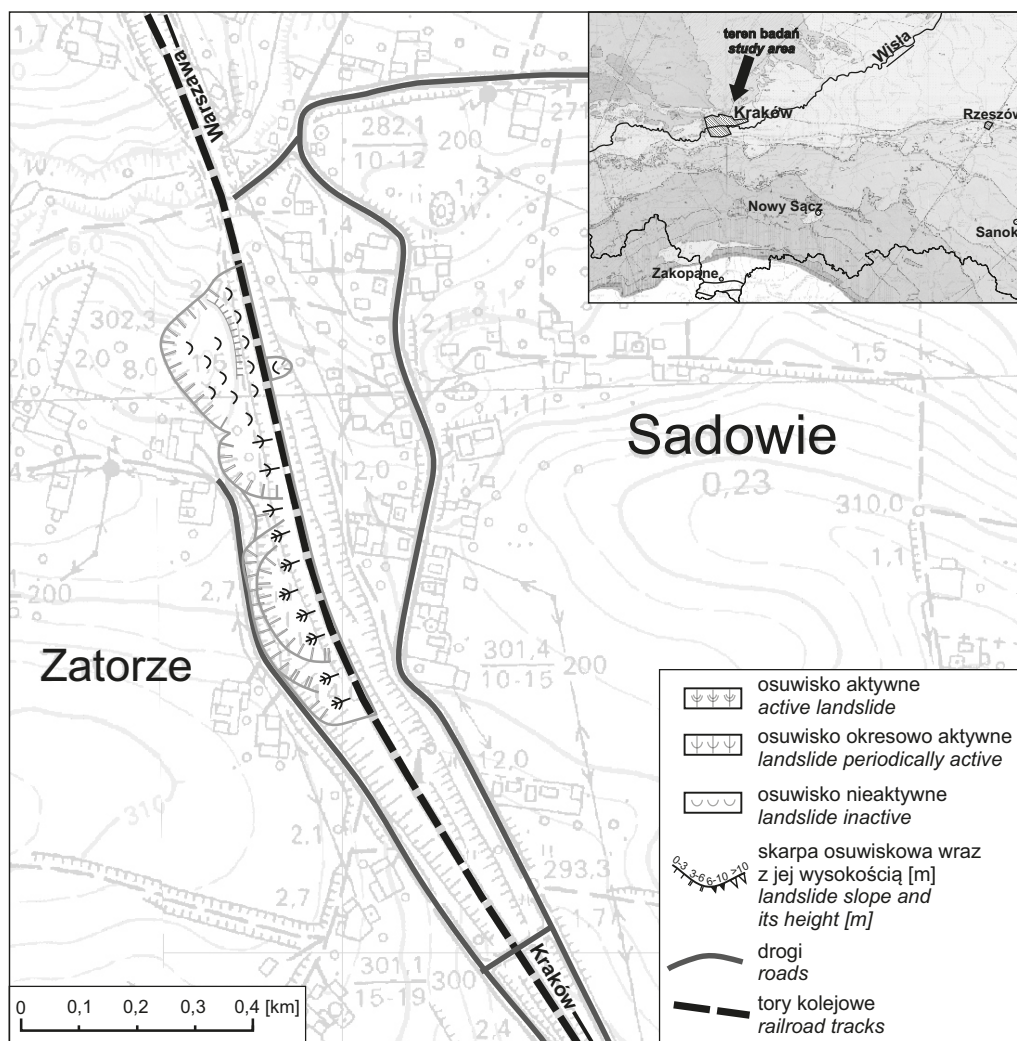


Fig. 19. Lokalizacja osuwiska w Sadowiu

Location of landslide in Sadowie

w powierzchni kredy (Sokołowski, 1947). Utwory miocenu stanowią ility pylaste, ility oraz iłolupki. Utwory kredowe i miocenijskie w okolicy Sadowia są pokryte płaszczem utworów czwartorzędowych o zmiennej miąższości. Są wykształcone jako grunty lessowe z domieszką humusu w dolnych częściach zboczy (Sokołowski, 1947).

Po uaktywnieniu się osuwiska w 2010 r. odwiercono 10 otworów pełnordzeniowych, a w dwóch z nich zamontowano inklinometry (fig. 23). W trakcie prowadzonych badań stwierdzono dwie główne płaszczyzny poślizgu przebiegające na głębokości ok. 6,0 oraz 11,0–11,5 m. Na jego terenie rozpoznano utwory pylasto-ilaste: pyły z łem, pyły z łem i piaskiem, ility z pyłem w stanie od półzwarłego do miękkoplastycznego. Warstwy czwartorzędowe osiągają miąższość 16,5 m.

Osuwisko Chełm to stara, rozległa forma o urozmaiconej morfologii i zróżnicowanym stopniu aktywności (fig. 1, 24, 25), zlokalizowane na północnych zboczach wzgórza Chełm. W obrębie jego górnej części występuje liczna zabudowa mieszkalna miejscowości Chełm wraz z siecią dróg

gminnych i dojazdowych oraz linie przesyłowe. Dolna część jest użytkowana rolniczo. Łącznie zagrożonych uszkodzeniem jest 36 budynków mieszkalnych, 22 budynki gospodarcze, drogi, sady, grunty orne, nieużytki, łąki i pastwiska, zarosła krzewiaste, a także linie przesyłowe.

W wyniku długotrwałych opadów atmosferycznych w maju 2010 r., górna część osuwiska uległa odmłodzeniu. Pierwszy obszar, na którym obserwowano przejawy aktywności osuwiskowej w tym rejonie obejmował kilkudziesięciometrowy odcinek drogi gminnej oraz niewielki obszar poniżej niej (fig. 25). Drugi aktywny fragment osuwiska jest zlokalizowany we wschodniej części osuwiska, na stromym odcinku stoku (fig. 25). Silnie zawodniony materiał nasunął się wysokim czołem na przebiegającą poniżej drogę. Właściciel budynku nr 27, w celu jego zabezpieczenia, wykonał we własnym zakresie, system drenaży oraz płytkie palowanie do głębokości podłoża ilastego, umiejscowione tuż poniżej domu (fig. 25), które spowolniło ruchy osuwiskowe.

Osuwisko jest zlokalizowane na pograniczu Karpat fliaszowych oraz zapadliska przedkarpackiego w obrębie jed-

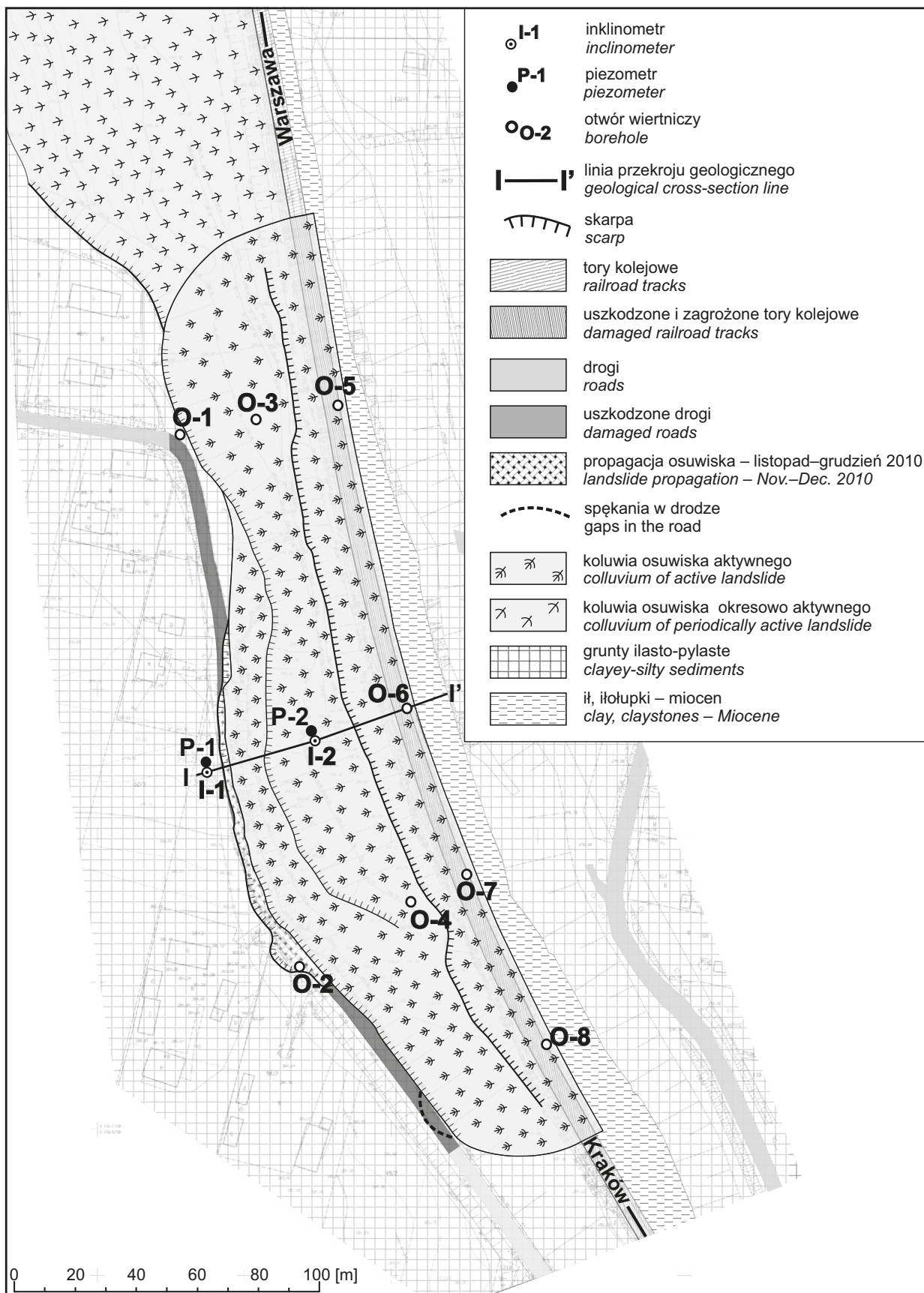


Fig. 20. Mapa geologiczno-inżynierska osuwiska w Sadowiu

Geological-engineering map of landslide in Sadowie



Fig. 21. Skarpa główna w obrębie uszkodzonej drogi – osuwisko Sadowie

Main slope within a damaged road – Sadowie landslide



Fig. 22. Zaciśnięta korytka i uszkodzone tory kolejowe – osuwisko Sadowie

Clenched troughs and damaged railway tracks – Sadowie landslide

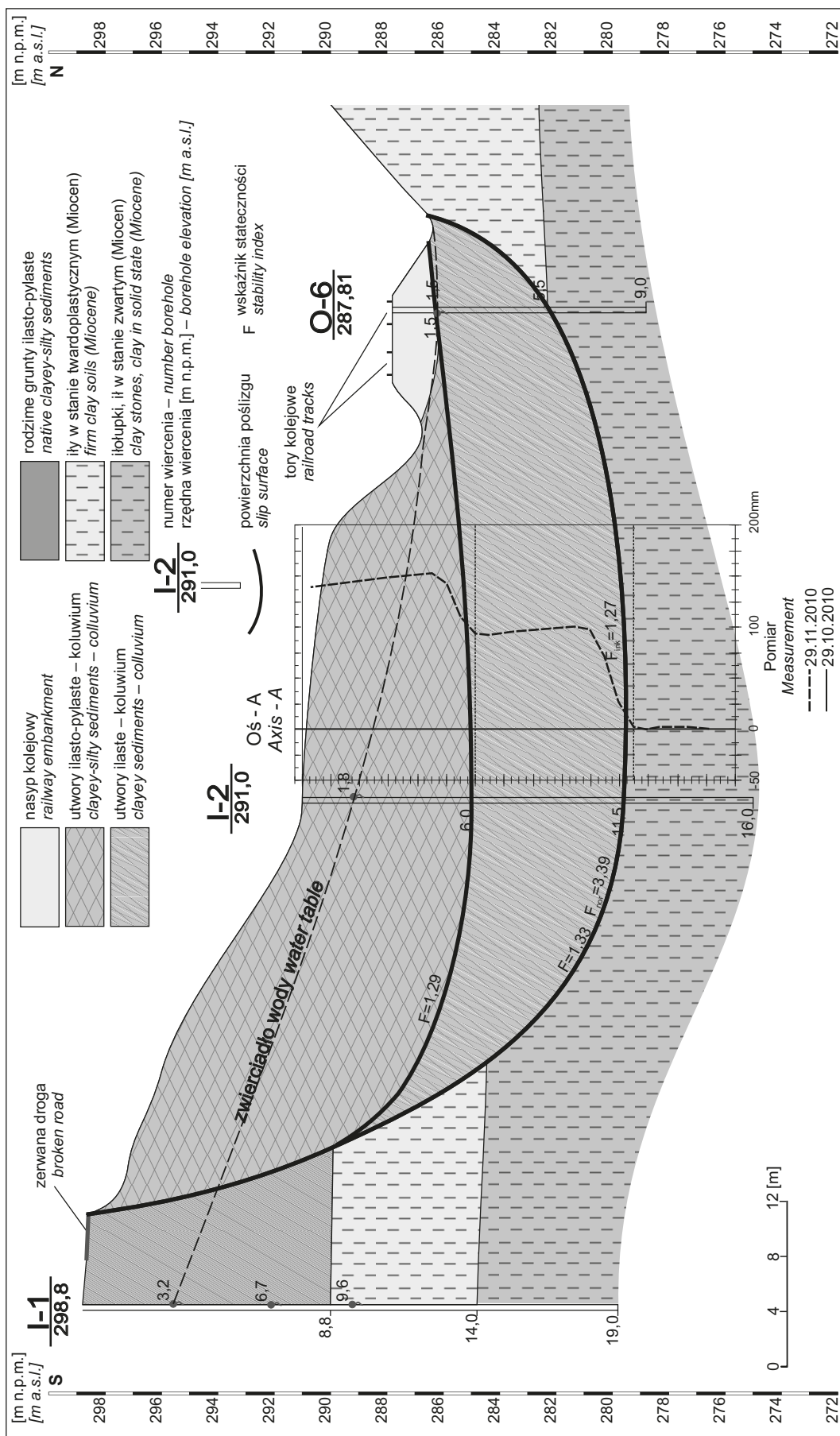


Fig. 23. Przekrój geologiczno-inżynierski I-I' osuwiska w Sadowiu

Geological-engineering cross-section I-I' of landslide in Sadowie

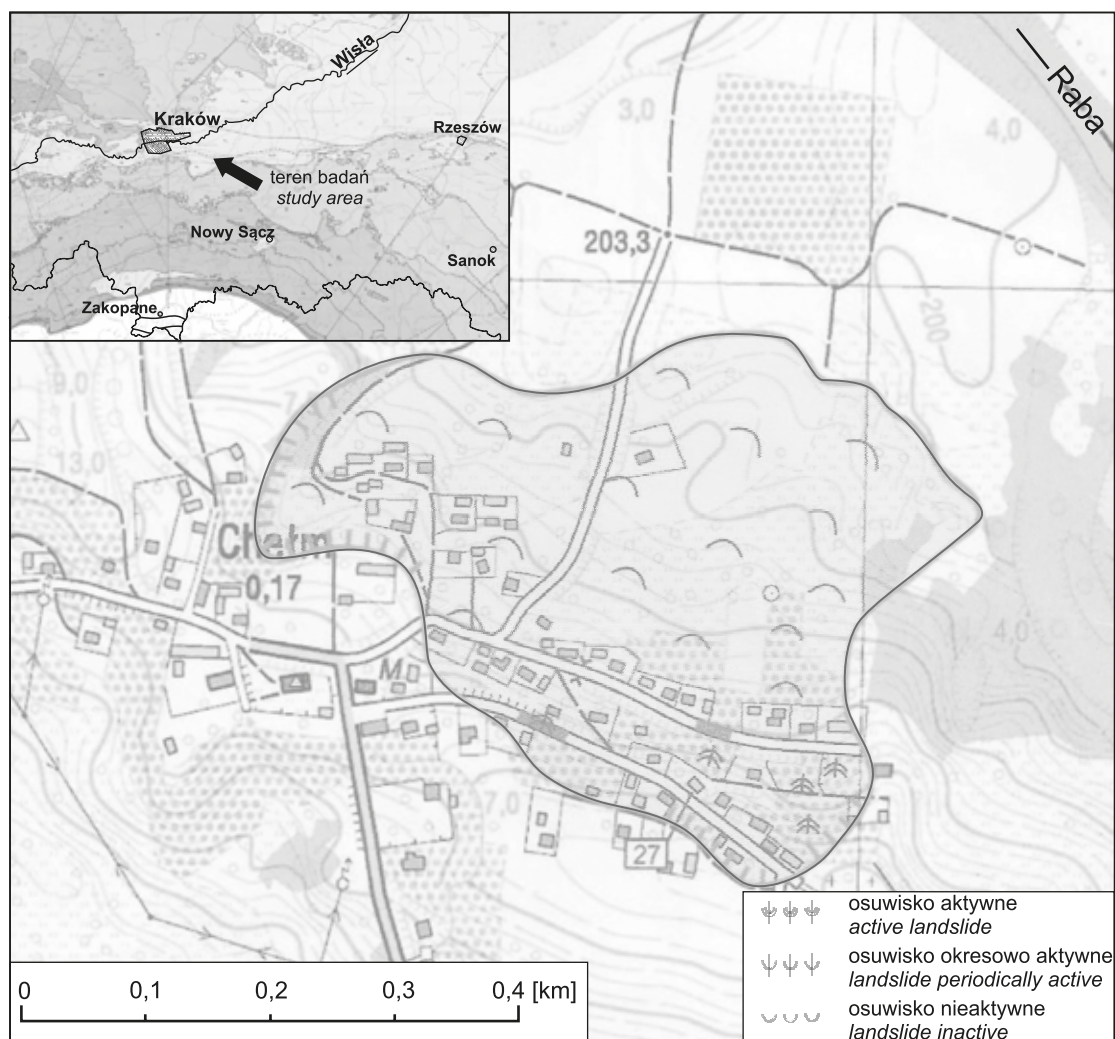


Fig. 24. Lokalizacja osuwiska w Chelmie

Location of landslide in Chelm

nostki zgłębniczej (Kopciowski i in., 2017). W budowie geologicznej biorą udział osady neogenu oraz czwartorzędu.

W celu rozpoznania warunków geologicznych osuwiska wykonano w pierwszym etapie 6 otworów geologiczno-inżynierskich o głębokości od 15,0 do 22,0 m (fig. 25–27). W drugim etapie zainstalowano dwa otwory inklinometryczne do głębokości 25,0 m.

Osuwisko obejmuje lessy, a także osady mioceńskie, które uległy przemieszczeniu, wykształcone jako ły, ły z pyłem, łułupki o miąższości 11,1–20,5 m stwierdzonej na podstawie analizy powierzchni ścięcia w obrębie rdzeni. Nasypy w obrębie koluwium pochodziły z podbudowy pod drogi. Grunty spoiste w obrębie nasypu występowały w stanie plastycznym i miękkoplastycznym. Utwory ilasto-pylaste (lessy) pochodzenia czwartorzędowego to głównie ły z pyłem, ły i ły z pyłem i piaskiem, lokalnie pyły z łem o barwie brązowo-szarej, jasnobrązowej, brunatnej i ciemnopopielatej. Były wilgotne i mokre oraz występują w stanach konsystencji od miękkoplastycznego po zwarty. ły o pierwotnym pochodzeniu mioceńskim, znajdujące się w obrębie koluwium, charakteryzowały się zwartym, miejscami twardopla-

stycznym stanem konsystencji i miały barwy ciemnopopielate, brązowo-popielate. łułupki były ciemnopopielate, mało wilgotne w stanie zwartym, lokalnie wilgotne w stanie twardoplastycznym, natomiast łupki były ciemnopopielate, miękkie, łamliwe i rozsypliwie.

Podłoże osuwiska stanowią utwory mioceńskie, w postaci łułupków i łupków o barwie ciemnopopielatej i popielatej. łułupki są mało wilgotne i występują w stanie zwartym. Łupki są natomiast spękane i rozsypliwie.

BADANIA LABORATORYJNE I POMIARY INKLINOMETRYCZNE

Z wykonanych pełnordzeniowych wierceń na poszczególnych osuwiskach pobrano próbki gruntów i skał do badań laboratoryjnych. Na podstawie normy PN-EN 1997-2 Eurokod 7, w zależności od rodzaju gruntów i skał, wykonywano szczegółowe badania laboratoryjne. Na próbkach gruntów spoistych przeprowadzono: oznaczenie składu uziarnienia – analizę granulometryczną [%] (metodą areometryczną i sito-

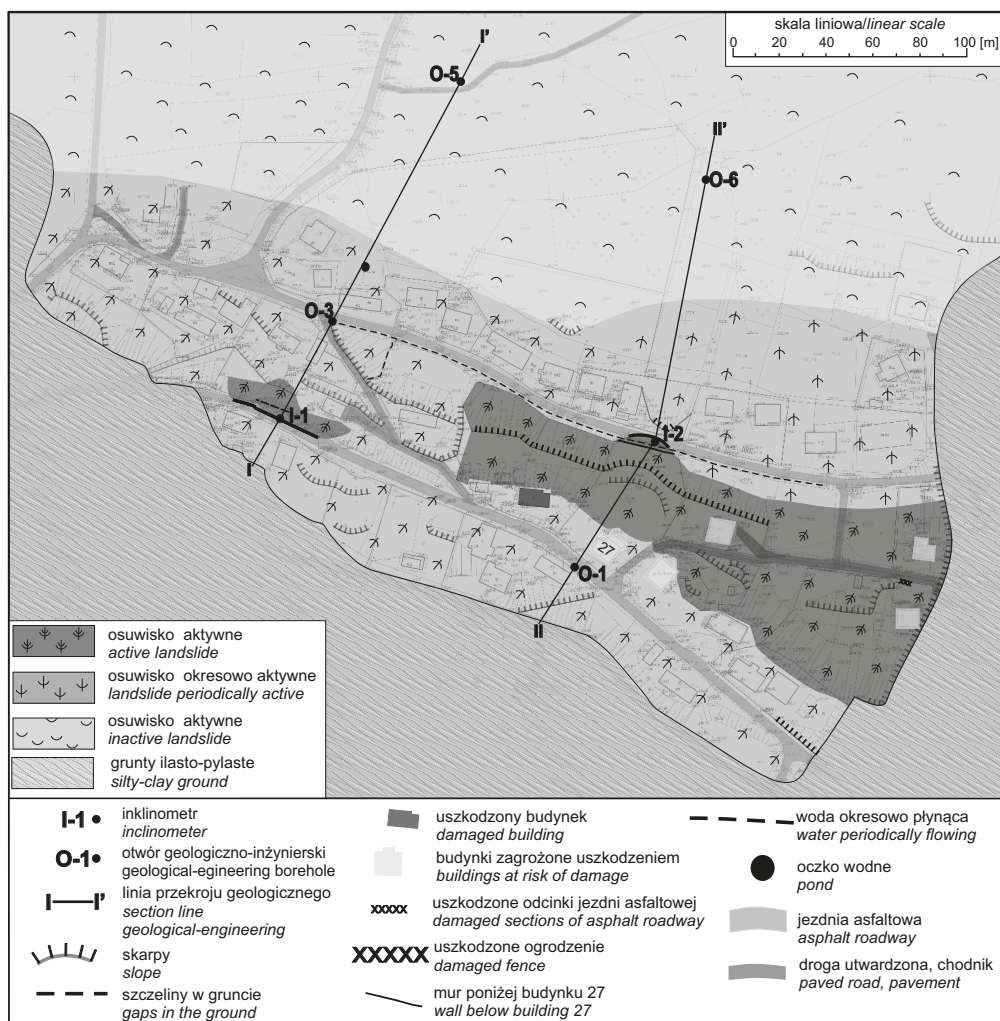


Fig. 25. Mapa geologiczno-inżynierska osuwiska w Chełmie

Geological-engineering map of landslide in Chełmie

wą), wilgotności naturalnej w [%], gęstości objętościowej gruntu r [g/cm^3], granic konsystencji (granicy plastyczności w_p [%] i płynności w_L [%]) z obliczeniem wskaźnika plastyczności gruntu I_p [%], wskaźnika konsystencji gruntu I_C [-] oraz stopnia plastyczności gruntu I_L [-], wytrzymałości na ścinanie w aparacie trójosiowego ściskania (kąta tarcia wewnętrznego j' [°] i kohezja c [kPa]), oznaczenie zawartości części organicznych I_{om} [%]. Na próbkach gruntów sypkich przeprowadzono oznaczenia składu uziarnienia – analizę granulometryczną [%] (metodą sitową) wraz z obliczeniem współczynnika filtracji na podstawie składu uziarnienia. Na próbkach skał wykonano analizy wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe R_c [MPa]. Nawiercone utwory skalne, na podstawie uzyskanego rdzenia, poddano dodatkowo ocenie jakości górotworu według klasyfikacji RQD (*Rock Quality Designation*), polegającej na analizie podzielności rdzenia wiertniczego (Deere, 1989; Pinińska, 2001, 2004) oraz geomechanicznej klasyfikacji właściwości górotworu RMR (*Rock Mass Rating*) według Bieniawskiego (1989). Dodatkowo, szczegółowo określono także proporcje łupków do piaskowców. Wartości wskaźników RQD i RMR oraz pro-

porcji łupków do piaskowców określono dla poszczególnych przelotów głębokości rdzeni skalnych o podobnej charakterystyce.

Po wykonanych analizach, na podstawie genezy oraz parametrów wytrzymałościowych, wydzielono warstwy geologiczno-inżynierskie. Zastosowanie metod statystycznych do wydzielonych warstw pozwoliło uśrednić wartości parametrów gruntowych i skalnych. Ze względu na stosowanie w dokumentacjach geologiczno-inżynierskich parametrów pozyskanych z normy PN-B-03020, dla przekrojów obliczeniowych osuwisk w Starym Sączu, Ochojnie, Sadowie i Chełmie zastosowano zasadę parametru wiodącego, na podstawie stopnia plastyczności, a parametry wytrzymałościowe wyprowadzono metodą B, zgodnie z ww. normą. Wartości kąta tarcia wewnętrznego i kohezji wyznaczono przy założeniu wartości stopnia plastyczności uzyskanego z badań laboratoryjnych.

Na każdym z omawianych obszarów osuwiskowych zainstalowano inklinometry według ogólnie przyjętych wytycznych i zaleceń (Zabuski, 2013; Wojciechowski i in., 2014; Nescieruk, 2015, 2017), w których przy pomocy son-

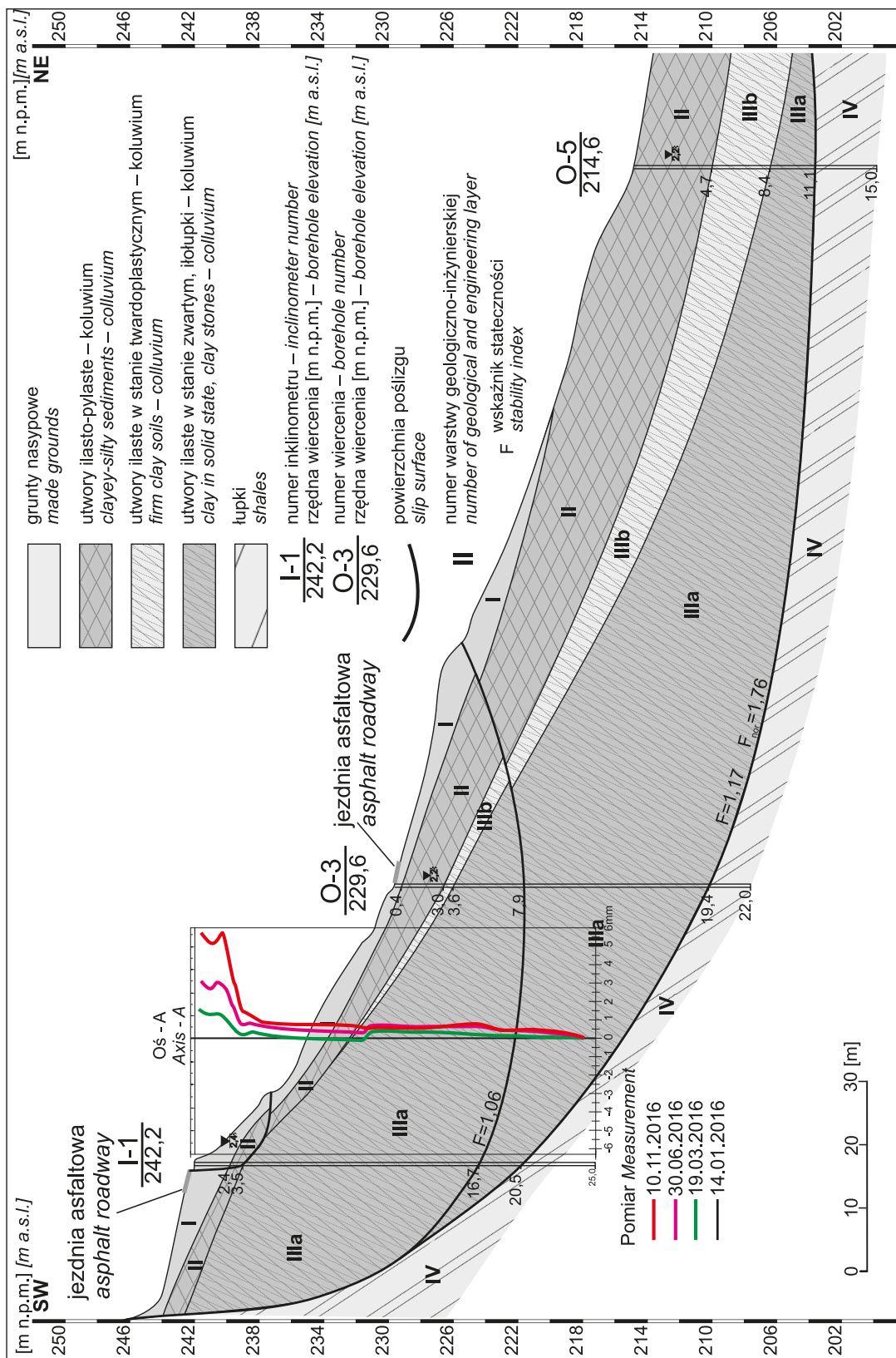


Fig. 26. Przekrój geologiczno-inżynierski I-I' osuwiska w Chelmie
 Geological-engineering cross-section I-I' of landslide in Chelmie

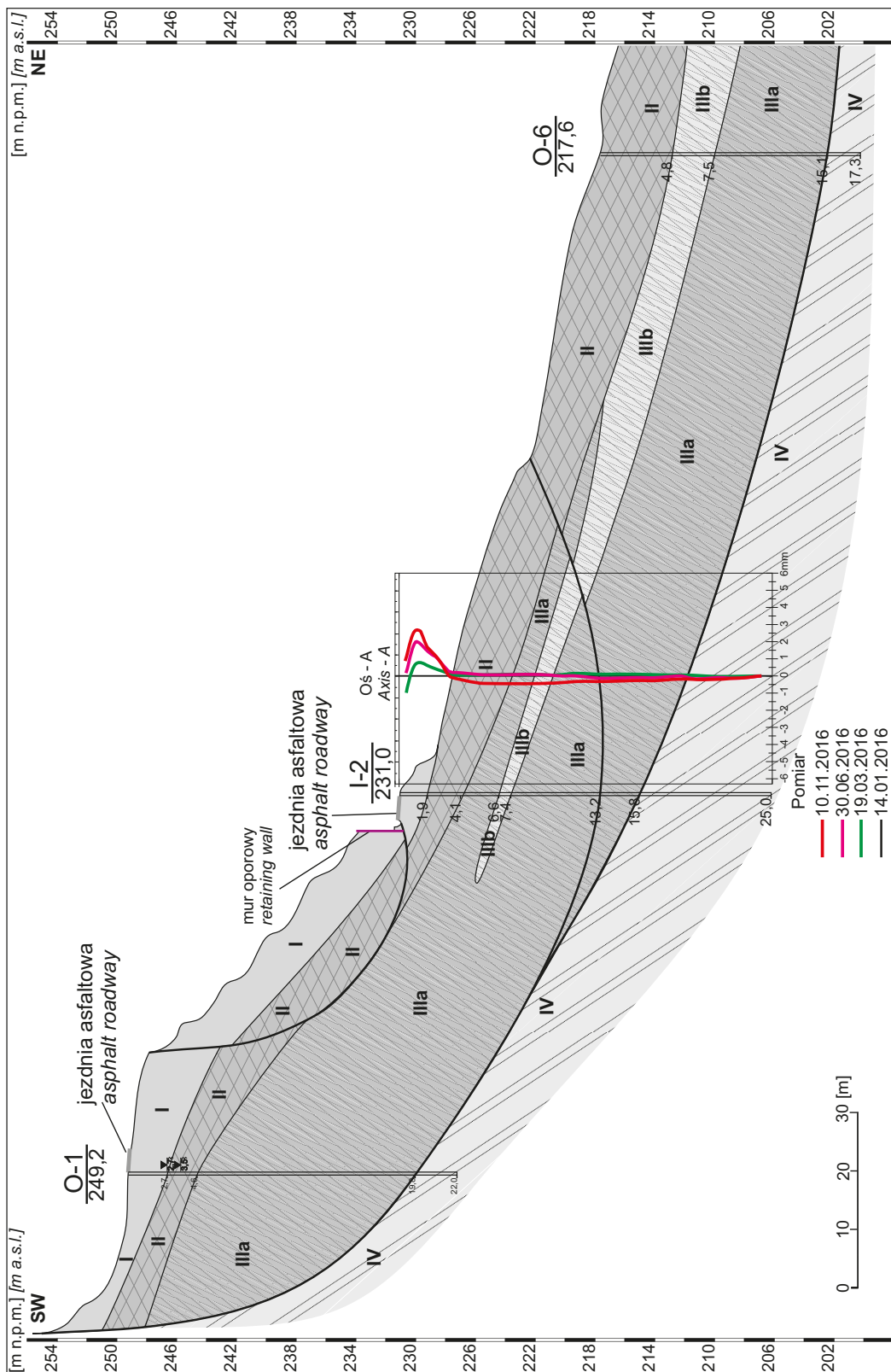


Fig. 27. Przekrój geologiczno-inżynierski II-II' osuwiska w Chelmie (objaśnienia jak na fig. 26)

Geological-engineering cross-section II-II' of landslide in Chelme (explanations on fig. 26)

dy prowadzono pomiary przemieszczeń wgłębnych. Dla każdego osuwiska przeprowadzono obliczenia stateczności, w których powierzchnia poślizgu była modelowana na podstawie danych o głębokościach przemieszczeń z pomiarów inklinometrycznych, a parametry gruntów i skał uzyskano z badań laboratoryjnych. Obliczenia przy wykorzystaniu danych inklinometrycznych prowadzono przy założeniu znanej (stwierdzonej pomiarami) największej głębokości przemieszczeń.

W celu oceny wpływu doboru parametrów geologiczno-inżynierskich na stateczność zboczy osuwiskowych prowadzono obliczenia przy wykorzystaniu metody B z normy PN-B-03020. Weryfikację przyjętych założeń prowadzono

przez obliczenia przy uwzględnieniu danych z pomiarów inklinometrycznych dla parametrów oporu ścinania z badań laboratoryjnych. Na przekrojach obliczeniowych wprowadzono głębokości przemieszczeń wynikające z pomiarów inklinometrycznych i wykonywano obliczenia, porównując otrzymane wyniki. Zestawienie przeprowadzonych obliczeń stateczności dla poszczególnych obszarów osuwiskowych wg metody Sarmy–Hoeka przedstawiono w tabeli 1.

Dla osuwiska w Starym Sączu, w wyniku obliczeń, otrzymano wartości wskaźnika stateczności od 1,20 do 1,37, przy wykorzystaniu parametrów uzyskanych z badań laboratoryjnych, a dla parametrów normowych – od 2,62 do 2,80 (tab. 1), czyli dwukrotnie wyższe od wynikających z badań

Tabela 1

Zestawienie wartości wskaźnika stateczności dla terenów osuwiskowych określonych na podstawie obserwacji powierzchni ścięcia w obrębie rdzeni wiertniczych oraz pomiarów inklinometrycznych

Table 1. Comparison of the value of stability index values for landslide areas determined on the basis of the observation of the shear surface within the drill cores and inclinometer measurements

Numer obliczenia Calculation number	Powierzchnia poślizgu Slip surface	Wskaźnik stateczności F* Stability index F*
STARY SĄCZ – STROMA		
1	Płytko, obejmująca górną część osuwiska / <i>Shallow, including the upper parts of the landslide</i>	1,20
2	Głęboko, obejmująca całe osuwisko / <i>Deep, including all the landslide</i>	1,37
3	Płytko, obejmująca górną część osuwiska – parametry z normy PN-B-03020 <i>Shallow, including the upper parts of the landslide – parameters from PN-B-03020 standard</i>	2,80
4	Głęboko, obejmująca całe osuwisko – parametry z normy PN-B-03020 <i>Deep, including all the landslide – parameters from PN-B-03020 standard</i>	2,62
5	Na podstawie pomiarów inklinometrycznych / <i>Based on inclinometer measurements</i>	1,39
JASZCZUROWA		
6	Głęboko, obejmująca całe osuwisko / <i>Deep, including all the landslide</i>	1,05
7	Obejmująca dolną część osuwiska z korpusem drogowym <i>Including the lower part of the landslide with road embankment</i>	1,13
8	Obejmująca dolną część osuwiska / <i>Including the lower part of the landslide</i>	1,31
9	Na podstawie pomiarów inklinometrycznych / <i>Based on inclinometer measurements</i>	1,00
OCHOJNO		
10	Płytko, obejmująca dolną i środkową część osuwiska <i>Shallow, including the lower and middle part of the landslide</i>	1,31
11	Głęboko, obejmująca całe osuwisko / <i>Deep, including all the landslide</i>	1,13
12	Głęboko, obejmująca całe osuwisko – parametry z normy PN-B-03020 <i>Deep, including all the landslide-parameters from PN-B-03020 standard</i>	1,86
13	Na podstawie pomiarów inklinometrycznych / <i>Based on inclinometer measurements</i>	1,11
SADOWIE		
14	Płytko, obejmująca całe osuwisko / <i>Shallow, including all the landslide</i>	1,29
15	Głęboko, obejmująca całe osuwisko / <i>Deep, including all the landslide</i>	1,33
16	Głęboko, obejmująca całe osuwisko – parametry z normy PN-B-03020 <i>Deep, including all the landslide-parameters from PN-B-03020 standard</i>	3,39
17	Na podstawie pomiarów inklinometrycznych / <i>Based on inclinometer measurements</i>	1,27
CHEŁM		
18	Płytko, obejmująca część południową / <i>Shallow, including southern part</i>	1,06
19	Głęboko, obejmująca część południową / <i>Deep, including southern part</i>	1,17
20	Głęboko, obejmująca część południową – parametry z normy PN-B-03020 <i>Deep, including southern part – parameters from PN-B-03020 standard</i>	1,76

* F < 1 skarpa/zbocze niestateczne, F = 1 skarpa/zbocze w stanie równowagi granicznej, F > 1 skarpa/zbocze stateczne

laboratoryjnych. Wyniki przeprowadzonych obliczeń przy założeniu głębokości przemieszczeń z pomiarów inklinometrycznych potwierdzają obliczenia dla głębokiej powierzchni poślizgu ze względu na porównywalne wartości wskaźnika stateczności z obliczeń wykonanych na podstawie badań laboratoryjnych ($F = 1,37$) oraz pomiarów monitoringowych ($F = 1,39$). Zwracają uwagę bardzo wysokie wartości wskaźnika stateczności, uzyskane na podstawie parametrów normowych, które są wynikiem występowania w podłożu gruntów spoistych, co wskazuje, że stosowanie danych z normy może prowadzić do znacznego zawyżenia wskaźnika stateczności. W wyniku obliczeń uzyskanych na podstawie danych z badań laboratoryjnych dla poszczególnych osuwisk otrzymano wartości wskaźnika stateczności od 1,13 do 1,37. Powyższe wyniki świadczą, że na każdym rozpatrywanym terenie osuwiskowym mogą wystąpić dalsze przemieszczenia koluwiów.

Analiza przeprowadzonych obliczeń stateczności przy zastosowaniu parametrów z normy PN-B-03020 wskazuje, że wartości wskaźnika stateczności pochodzą z przedziału od $F = 1,86$ do $F = 2,80$ (tab. 1). Są to zdecydowanie wyższe wartości wskaźnika stateczności w stosunku do tych uzyskanych na podstawie parametrów z badań laboratoryjnych.

Dla osuwiska w Jaszczurowej obliczenia wykonano dla przekroju III–III', który przeprowadzono przez inklinometr O-5, otwory badawcze O-1, O-4, O-8 (fig. 12). Wykonano je trzech wariantach, dla łamanych powierzchni poślizgu. Warianty te różniły się od siebie przyjętą powierzchnią poślizgu. Pierwszy wariant przewidywał ruch całego osuwiska wzdłuż okresowo aktywnej płaszczyzny poślizgu, drugi – zakładał poślizg po propagującej powierzchni aktywnej, rozpoczynającej się powyżej inklinometru O-5, a trzeci – po powierzchni aktywnej o początku poniżej inklinometru.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń na podstawie danych z badań laboratoryjnych otrzymano wartości wskaźnika stateczności od 1,05 do 1,31 (tab. 1). Po analizie danych z pomiarów inklinometrycznych przeprowadzono obliczenia dla stwierdzonej najgłębszej powierzchni poślizgu i uzyskano wartość $F = 1,0$, co świadczy o stanie równowagi granicznej. Dla dolnej części osuwiska uzyskano dobre dopasowanie płaszczyzny poślizgu, którą obliczono na podstawie wyników monitoringu inklinometrycznego i obserwacji rdzenia z badań terenowych.

Dla osuwiska w Ochojnie otrzymano wartości wskaźnika stateczności od 1,13 do 1,31 przy wykorzystaniu parametrów uzyskanych z badań laboratoryjnych, przy zastosowaniu w przekroju obliczeniowym parametrów z normy PN-B-03020 – wartość $F = 1,86$, a na podstawie danych o przebiegu powierzchni poślizgu z pomiarów inklinometrycznych uzyskano $F = 1,11$ (tab. 1).

Stwierdzono porównywalne wartości wskaźnika stateczności dla najgłębszej powierzchni poślizgu z analizy rdzenia wiertniczych w stosunku do uzyskanych danych z pomiarów inklinometrycznych. Zauważalna jest minimalna różnica głębokości interpretowanej powierzchni poślizgu pomiędzy obiema metodami, przy czym otrzymane wartości liczbowe są porównywalne. Powierzchnia poślizgu obliczona na pod-

stawie danych z pomiarów inklinometrycznych wykazuje niższą wartość wskaźnika stateczności $F = 1,11$ co świadczy o otrzymaniu poprawnej sytuacji obliczeniowej. Jak można się było spodziewać, wartości wskaźnika stateczności przy zastosowaniu parametrów normowych wskazują, że stok jest stabilny, co jest sprzeczne z wynikami z pomiarów inklinometrycznych.

W przypadku osuwiska w Sadowiu obliczenia przeprowadzono dla przekroju geologicznego, przez centralną część osuwiska. Obliczenia prowadzono w wariacie dla płytkiej i głębokiej powierzchni poślizgu, gdzie na podstawie obserwacji rdzenia stwierdzono powierzchnie ścięcia.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano wartości wskaźnika stateczności od 1,29 do 1,33 przy wykorzystaniu parametrów uzyskanych z badań laboratoryjnych, a dla parametrów normowych – $F = 3,39$ (tab. 1). Parametry normowe przyjęte do obliczeń podwyższają wartość wskaźnika stateczności prawie trzykrotnie w badanym przykładzie obliczeniowym.

Analizie poddano także dane z pomiarów inklinometrycznych. Obliczenia przeprowadzono na podstawie stwierdzonych wartości przemieszczeń najgłębszej powierzchni poślizgu, gdzie uzyskano wartość 1,27. Obliczenia dla głębokiej powierzchni poślizgu znajdują swoje odzwierciedlenie w wynikach z pomiarów inklinometrycznych.

W przypadku osuwiska w Sadowiu w przeszłości stosowano zabezpieczenia, które obejmowały jedynie powierzchniowe grunty czwartorzędowe. Po wykonaniu ostatniej konstrukcji zabezpieczającej, obejmującej utwory mioceńskie, nastąpiło ustabilizowanie obszaru osuwiska. Potwierdzeniem przedstawionego wniosku jest fakt, że głębokości płaszczyzny poślizgu z obliczeń wykonanych na podstawie badań laboratoryjnych oraz pomiarów inklinometrycznych są porównywalne. W przypadku badanego osuwiska zwraca się uwagę na bardzo wysokie wartości wskaźnika stateczności uzyskane na podstawie parametrów normowych. Tak znacznie zawyżone wielkości uzyskanych wartości wynikają z faktu przyjęcia wysokiej spójności dla utworów ilastych. W przedstawionych historycznych zabezpieczeniach przyjmowano, że ility jako utwory nośne nie będą ulegały przemieszczeniom i stanowią ośrodek nieprzepuszczalny. Wykorzystywanie do obliczeń parametrów normowych, szczególnie dla utworów ilastych w świetle przedstawionych wyników, może doprowadzić do znacznego zawyżenia wartości wskaźnika stateczności i w konsekwencji do katastrofy budowlanej.

W przypadku osuwiska w Chełmie obliczenia przeprowadzono dla przekroju, który przechodzi przez najbardziej aktywny fragment osuwiska. Obliczenia prowadzono w wariacie dla górnej płaszczyzny poślizgu – $F = 1,06$, a także dla głębokiej powierzchni poślizgu – $F = 1,17$, gdzie na podstawie obserwacji rdzenia stwierdzono powierzchnie ścięcia. W celu określenia stateczności terenu osuwiskowego, do obliczeń wykorzystano także parametry normowe stosowane wg PN-B-03020.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano wartości wskaźnika stateczności od 1,06 do 1,17 przy wykorzy-

staniu parametrów uzyskanych z badań laboratoryjnych, a dla parametrów normowych otrzymano wartość $F = 1,76$ (tab. 1). Wartości normowe przyjęte do obliczeń, podobnie jak dla osuwiska w Sadowiu, podwyższają wartość wskaźnika stateczności w badanym przykładzie obliczeniowym.

W omawianym przykładzie osuwisko w okresie prowadzenia pomiarów w inklinometrach nie wykazywało aktywności poza przypowierzchniową częścią. W związku z powyższym, nie przeprowadzono analizy porównawczej z przemieszczeniami inklinometrycznymi. W takich sytuacjach powierzchnie poślizgu zidentyfikowano poprzez analizę powierzchni ścięcia. W przypadku uruchomienia osuwiska inklinometry pozwolą na określenie skali przemieszczeń. Przeprowadzone obliczenia wskaźników stateczności w nawiązaniu do głębokości przemieszczeń z pomiarów inklinometrycznych mieszczą się w przedziale 1,00–1,39. Dla badanych osuwisk dopasowanie powierzchni poślizgu z badań laboratoryjnych i wyników inklinometrycznych jest bardzo podobne. W powyższych przykładach zwraca się uwagę na właściwą interpretację podłoża, ponieważ zbyt płytkie rozpoznanie geologiczne jest najczęstszą przyczyną błędnego dokumentowania geologiczno-inżynierskiego osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi, a w efekcie opracowania projektu budowlanego i wykonania nieskutecznego zabezpieczenia.

PROPOZYCJA DOKUMENTOWANIA OBSZARÓW OSUWISKOWYCH

Rozpoznanie budowy geologicznej i głębokości występowania powierzchni poślizgu są kluczowe dla udokumentowania zasięgu i głębokości osuwiska. W związku z tym zaproponowano przebieg postępowania przy wykonywaniu dokumentacji geologiczno-inżynierskich dla osuwisk (fig. 28). W nawiązaniu do procedur zabezpieczania obszarów osuwiskowych (Wójcik i in., 2017) w pierwszym kroku dokumentowania obszaru osuwiskowego należy wykonać kartę dokumentacyjną wraz z opinią. Po przeprowadzeniu przez inwestora analizy ekonomicznej w koordynacji z jednostką geologiczną (PIG-PIB) należy przeprowadzić szczegółowe badania geologiczno-inżynierskie. Ich zakres powinien być uzależniony od wielkości badanego osuwiska oraz wpływu jego uruchomienia na potencjalne uszkodzenia/zniszczenia istniejących obiektów budowlanych oraz infrastruktury technicznej/drogowej. Dla terenu osuwiska powinna zostać wykonana mapa sytuacyjno-wysokościowa w skali 1:500 lub 1:1000, na której należy przedstawić szczegółowe wyniki z kartowania geologiczno-inżynierskiego osuwiska i jego strefy buforowej. Otwory badawcze powinny być lokalizowane w osi osuwiska w taki sposób, aby można było skonstruować przekrój podłużny, przechodzący od skarpy głównej po czoło osuwiskowe. Dobrą praktyką dla dużych osuwisk powinny być przynajmniej dwa–trzy przekroje podłużne prowadzone przez cały obszar osuwiskowy oraz przekroje poprzeczne, które uszczegółwiają rozpoznanie obszaru osuwiskowego danymi z kartowania geolo-

giczno-inżynierskiego. Ważną kwestią przy rozpoznawaniu osuwisk jest technika prowadzonych wierceń.

Jedynie wiercenia pełnordzeniowe pozwalają w sposób wiarygodny zidentyfikować i określić głębokość występowania powierzchni ścięcia, po których nastąpiło przemieszczenie koluwiów osuwiskowych. Wykonując wiercenia, należy na bieżąco oceniać pozyskiwany rdzeń, którego uzysk nie powinien być mniejszy niż 85%. Wiercenia należy prowadzić do głębokości minimum 3–5 m poniżej najniższej stwierdzonej powierzchni poślizgu. Kwestią dyskusyjną w większości przypadków jest głębokość na jakiej należy zakończyć wiercenia. Geolog dokumentujący na bieżąco powinien oceniać uzyskiwany rdzeń, analizować stwierdzone powierzchnie ścięcia i na tej podstawie określać ostateczną głębokość wiercenia. W projekcie robót geologicznych dla terenów osuwiskowych należy przewidywać rezerwę na przegłębienie planowanych wierceń. Dla analizowanych osuwisk wykonywano znacznie głębsze wiercenia niż zaplanowano. Kwestią zasadniczą jest pobieranie próbek z rejonów

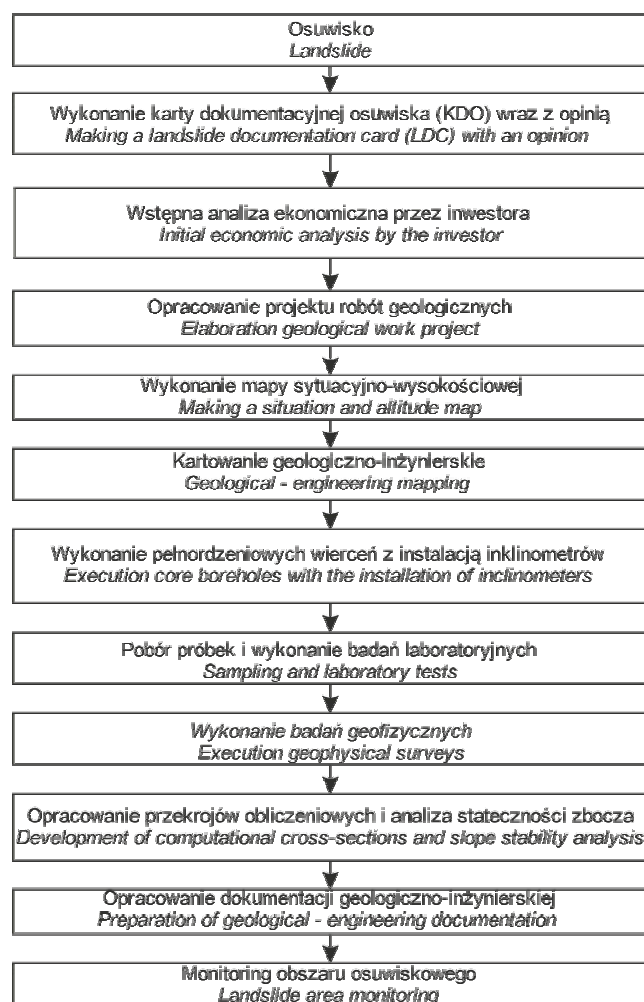


Fig. 28. Proponowany schemat postępowania przy projektowaniu i wykonaniu badań geologiczno-inżynierskich na osuwiskach

Proposed scheme of the procedure for design and execution of geological and engineering surveys on landslides

występowania stref osłabień oraz stwierdzonych powierzchni ściecia (złustrowań). Na przykładzie analizowanych głębokich osuwisk strukturalnych obejmujących przemieszczone pakiety skalne fliszu zwraca się szczególną uwagę na właściwe pobieranie próbek do badań laboratoryjnych. Bardzo częstym błędem jest wykonywanie badań wytrzymałościowych próbek skalnych, które uległy przemieszczeniu w pakietach skalnych. W tym wypadku należy oceniać jakość masywu skalnego oraz szczegółowo identyfikować jakości rdzenia. Badania próbek skalnych należy wykonywać przy stwierdzonych powierzchniach ściecia. Wzdłuż osi osuwiska, w nawiązaniu do odwierconych otworów badawczych, należy wykonać badania geofizyczne, np. tomografię elektrooporową.

Po przeprowadzeniu badań terenowych i wykonaniu badań laboratoryjnych należy opracować przekroje obliczeniowe wzdłuż osi osuwiska i określić parametry przy wykorzystaniu metod statystycznych lub przyjęć parametry eksperckie dla poszczególnych warstw geologiczno-inżynierskich. Uzyskane wyniki pozwolą na opracowanie modelu obliczeniowego do przeprowadzenia analiz stateczności zbocza osuwiskowego. Im bardziej szczegółowo zostanie rozpoznane podłoże, tym wykonana analiza stateczności będzie dokładniejsza i bardziej wiarygodna. Odpowiednie przeprowadzenie analiz będzie jednoznaczne z właściwym udokumentowaniem obszaru osuwiskowego. Nie powinno się wykonywać obliczeń dla przekrojów konstruowanych z jednego wiercenia badawczego, czy też danych uzyskanych np. z parametrów normowych. Uzyskane wyniki dla takich obliczeń powodują znaczne zawyżenie wskaźnika stateczności.

Monitoring powinien stanowić uzupełnienie przeprowadzonych badań terenowych i oceniać skalę przemieszczeń, która powinna zostać określona w pierwszym etapie. Jest ona określana poprzez pomiary inklinometryczne, które pozwalają zweryfikować założenie przyjęte do obliczeń. Wielkość przemieszczeń powinna być także wykorzystana podczas opracowywania projektu budowlanego zabezpieczeń obszaru osuwiskowego.

Zwraca się uwagę na właściwą interpretację skał podłoża osuwiska, ponieważ zbyt płytkie rozpoznanie geologiczne jest najczęstszą przyczyną błędnego dokumentowania geologiczno-inżynierskiego osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi (Wójcik, 2015; Wójcik i in., 2017). Taki sposób dokumentowania z właściwą techniką wierceń pełnordzeniowanych pozwala na wyeliminowanie błędów zbyt płytkiego, czy też niewłaściwego rozpoznania podłoża na obszarach osuwiskowych. Jest on rekomendowany do prowadzenia badań szczególnie na terenie fliszu karpackiego.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych gruntów i skał w strefach osłabień oraz udokumentowanych powierzchni ściecia dla omówionych przykładów osuwisk otrzymano wartości wskaźnika stateczności od 1,05 do 1,37 (tab. 1). Wartości wskaźników stateczności są uzależnione od

głębokości powierzchni poślizgu, wykształcenia geologicznego, morfologii terenu, warunków hydrogeologicznych itp.

Przeprowadzone obliczenia stateczności dla powierzchni poślizgu wynikających z głębokości przemieszczeń z monitoringu oraz parametrów wytrzymałościowych z badań laboratoryjnych, danych uzyskanych z pomiarów inklinometrycznych poprzez zamodelowanie głębokości przemieszczeń wynikających z monitoringu, wskazują, że wartości wskaźnika stateczności znajdują się w przedziale wartości od 1,0 do 1,39 (tab. 1). Głębokość powierzchni poślizgu stwierdzonych w rdzeniach wiertniczych i otrzymanych w wyniku pomiarów inklinometrycznych jest podobna.

Dla wybranych przekrojów obliczeniowych przeprowadzono analizy z wykorzystaniem parametrów wytrzymałościowych z normy PN-B-03020. Parametry wytrzymałościowe (j' , c') określono na podstawie parametru wodącego (I_L). Wyniki tych analiz pozwoliły na określenie wartości wskaźnika stateczności stoku od $F = 1,76$ do $F = 3,39$ (tab. 1). Znacznie wyższe wartości wskaźnika stateczności w stosunku do otrzymanych na podstawie wierceń i badań laboratoryjnych wskazują jednoznacznie, aby nie używać tych parametrów do analiz w obrębie obszarów osuwiskowych.

Zwraca się uwagę, że jednym z głównych czynników wpływających na stateczność stoków osuwiskowych jest nawodnienie gruntów. Nasilenie ruchów osuwiskowych obserwowane na przestrzeni lat następuje w okresach długotrwałych opadów atmosferycznych. Na skutek infiltracji wód w podłoże następuje redukcja parametrów wytrzymałościowych, szczególnie w utworach spoistych z licznymi okruciami skalnymi. Prowadzone analizy stateczności stoku po nawodnieniu koluwium wskazują na redukcję wartości wskaźnika stateczności zbocza o ok. 20–30%.

Podczas prowadzenia badań geologicznych na terenach osuwiskowych istotną kwestią jest określenie zakresu projektowanych robót geologicznych. Najważniejszym zagadnieniem przy badaniu osuwisk jest rozpoznanie głębokości przebiegu i kształtu powierzchni poślizgu. Wymaga to wykonania odpowiedniego rodzaju wierceń i uzyskania dobrej jakości rdzenia. Najczęściej w obrębie jednego osuwiska dokumentuje się kilka powierzchni poślizgu, które występują na różnych głębokościach, co wiąże się ze złożonym sposobem ruchu i ścinania. Przeważnie są to przebiegające głęboko powierzchnie poślizgu o kształcie cylindrycznym lub szuflowym.

Właściwe określenie najgłębiej zalegających powierzchni poślizgu pozwala na skonstruowanie modelu obliczeniowego i dobranie optymalnej metody zabezpieczenia terenu osuwiskowego. Przebieg powierzchni poślizgu nie jest determinowany głębokością zalegania podłoża skalnego pod utworami pokrywowymi. Rozpoznanie geologiczne powinno być uzależnione od wielkości badanego osuwiska oraz wpływu jego uruchomienia na potencjalne uszkodzenia/zniszczenia istniejących obiektów budowlanych oraz infrastruktury technicznej.

Przedstawiony powyżej sposób dokumentowania i prowadzenia obliczeń jest rekomendowany na terenach osuwiskowych. W pierwszym kroku należy przeprowadzić obli-

czenia na podstawie danych uzyskanych z prac terenowych oraz parametrów otrzymanych z badań laboratoryjnych. Monitoring powinien stanowić uzupełnienie badań terenowych i oceniać skalę przemieszczeń.

Częstotliwość pomiarów inklinometrycznych jest uzależniona od stopnia aktywności terenu osuwiskowego oraz rodzaju zagrożeń. Pomiaru powinno się wykonywać przynajmniej jeden raz na kwartał po zainstalowaniu kolumny inklinometrycznej. Po rocznej obserwacji kolumny inklinometrycznej w zależności od stwierdzonych wielkości przemieszczeń, częstotliwość pomiarów można ograniczyć. Pomiaru powinno się także prowadzić po długotrwałych lub intensywnych opadach atmosferycznych. Monitoring powinien być prowadzony w celu określenia wielkości przemieszczeń wzdłuż powierzchni poślizgu i na podstawie stwierdzonych wartości liczbowych powinna być oceniana skala zagrożenia obszaru osuwiskowego.

Podziękowania. Autor pragnie serdecznie podziękować dr hab. Radosławowi Mieszkowskiemu i drugiemu nieznanemu Recenzentowi za cenne uwagi i wskazówki, które wpłynęły na ostateczną wersję artykułu.

LITERATURA

- BAŻYŃSKI J., FRANKOWSKI Z., 1977 – Site investigations calculations of the stability of slopes in the landslide area at Sadowie near Cracow. *Biull. IAEG*, **16**, 1: 156–161.
- BIENIAWSKI Z.T., 1989 – Engineering Rock Mass Classification. John Wiley & Sons, New York.
- BOBER L., 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną. *Biul. Inst. Geol.*, **340**: 115–153.
- BOBER L., THIEL K., ZABULSKI L., 1997 – Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych. Geologiczno-inżynierskie właściwości wybranych osuwisk. IBW PAN, Gdańsk.
- BORATYN J., BRUD S., 1993 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Słomniki (947). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- CHOWANIEC J., WÓJCIK A. (red.), 2012 – Osuwiska w województwie małopolskim – atlas, przewodnik. Departament Środowiska, Rolnictwa i Geodezji Urzędu Marszałkowskiego, Zespół Geologii, Kraków.
- DEERE D.U., 1989 – Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 2008 – Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- HOEK E., 1987 – General two-dimensional slope stability analysis. *W: Analytical and computational methods in engineering rock mechanics* (red. E.T. Brown): 95–128. Allen Unwin, London.
- KOLUCH Z., NOWICKA D., 2014 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Stary Sącz, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. Internet: <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp: 29.06.2020 r.].
- KOPCIOWSKI R., JUGOWIEC M., LASKOWICZ I., 2017 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Bochnia. MŚ, Warszawa.
- KOS J., JASKÓLSKI Z., FORYŚ M., SZYMONIK L., KORZEC K., 2012 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla stabilizacji osuwiska z odbudową drogi lokalnej „Żwirki i Wigury” nr 294163K w km 0+000 – 0+330 raz nr 294162K ulica Stroma w km 0+250 – 0+500 w miejscowości Stary Sącz, gmina Stary Sącz, powiat nowosądecki, woj. małopolskie. Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. Kraków [oprac. arch.].
- KOS J., JASKÓLSKI Z., FORYŚ M., SZYMONIK L., BAKAJ M., 2013a – Dokumentacja geologiczno-inżynierska w ramach zadania pn. „Zabezpieczenie osuwiska zlokalizowanego przy przepuście nr 6 drogi krajowej nr 28 w km około 3+625 w gminie Mucharz woj. małopolskie wraz z uzyskaniem ostatecznej decyzji pozwolenia na budowę” w miejsc. Jaszczurowa, gmina Mucharz. Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. Kraków [oprac. arch.].
- KOS J., JASKÓLSKI Z., FORYŚ M., SZYMONIK L., BAKAJ M., 2013b – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla zadania pn. „Stabilizacja osuwiska wraz z odbudową drogi powiatowej nr 2167K Zbydniowice–Ochojno–Rzeszotary w miejscowości Ochojno w km 1+040 – 2+340”, miejscowość Ochojno, gmina Świątniki Górne, powiat krakowski, województwo małopolskie. Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A. Kraków [oprac. arch.].
- KSIĄŻKIEWICZ M., 1972 – Budowa geologiczna Polski. T. IV. Tektonika, cz. 3 Karpaty. Wydaw. Geol., Warszawa.
- MARGIELEWSKI W., 2003 – Late Glacial-Holocene palaeoenvironmental changes in the western Carpathians: case studies of landslide forms and deposits. *Folia Quaternaria*, **74**.
- MARGIELEWSKI W., KOŁACZEK P., MICHCZYŃSKI A., OBIDOWICZ A., PAZDUR A., 2011 – Record of the meso- and neoholocene palaeoenvironmental changes in the Jesionowa landslide peat bog (Beskid Sądecki Mts. Polish Outer Carpathians). *Geochronometria*, **38**, 2: 138–154.
- NESCIERUK P., 2015 – Instrumentalny monitoring osuwisk. *W: Ogólnopolska Konferencja O!suwisko. Materiały konferencyjne*. Wieliczka, 19–22.05.2015 r.: 81–82. PIG-PIB, Warszawa.
- NESCIERUK P., 2017 – Błędy pomiarów inklinometrycznych. *W: 6. Ogólnopolskie Sympozjum Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce. Książka abstraktów*. Rzeszów, 17–20.10.2017 r.: 92–93. PIG-PIB, Warszawa.
- NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., 2012 – Monitoring wgłębnny osuwisk karpaccich. *W: II Polski Kongres Geologiczny. Abstrakty*. Warszawa, 17–19.09.2012 r.: 63–67. WG UW, PTG, Warszawa.
- OSZCZYPKO N., 1979 – Budowa geologiczna północnych stoków Beskidu Sądeckiego między Dunajcem a Popradem. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, **49**: 293–325.
- OSZCZYPKO N., WÓJCIK A., 1993 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, ark. Nowy Sącz (1035). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PAUL Z., RĄCZKOWSKI W., RYŁKO W., WÓJCIK A., 1996 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Myślenice (996). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., BORKOWSKI A., 2014 – Monitoring of landslide dynamics with LIDAR, SAR interferometry and photogrammetry. Case study of Kłodne landslide (Southern Poland). *Proceedings of World Landslide Forum 3*, 2–6 June 2014, Beijing.
- PINIŃSKA J., 2001 – Systemy geologiczno-inżynierskiej oceny skał i masywów skalnych. *Prz. Geol.*, **49**, 9: 804–814.

- PINIŃSKA J., 2003 – Strukturalne uwarunkowania mechanizmów rozciągania i ścinania w skałach osadowych fliszu karpackiego. *W: Materiały II Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji*. Augustów, 4–7.06.2003 r.: 311–314. Politechnika Białostocka.
- PINIŃSKA J., 2004 – Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część IV. Karpaty fliszowe. Objasnienia i interpretacja. Zakład Geomechaniki Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydz. Geol. UW.
- PINIŃSKA J., 2007 – Szczelinowatość masywów skalnych po 30 latach w świetle normy PN-EN ISO 14689-1 – badania geotechniczne, rozpoznanie i klasyfikacja skał. *Geologos*, **11**: 43–57.
- PN-B-03020: Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednie budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1997-1: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- RĄCZKOWSKI W., 2015 – Historia rozpoznania osuwisk i aspekty prawne. *W: Ogólnopolska Konferencja O!suwisko. Materiały konferencyjne*. Wieliczka, 19–22.05.2015 r.: 62–63. PIG-PIB, Warszawa.
- SCHEIDEGGER A.E., 1974 – Geomorfologia teoretyczna. PWN Warszawa.
- SOKOŁOWSKI S., 1947 – Osuwisko w Sadowiu w przekopie linii kolejowej Tunel–Kraków. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **32**: 5–25.
- SARMA S.K., 1973 – Stability analysis of embankments and slopes. *Geotechnique*, **23**, 3: 423–433.
- SARMA S.K., 1979 – Stability analysis of embankments and slopes. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE*, **105**: 1511–1524.
- STARKEL L., 1973 – Podział geomorfologiczny Karpat. Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich. PWN, Warszawa, Kraków.
- STRONA INTERNETOWA <https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/sopo-baza-wiedzy/6330-metody-wglebne.html>.
- SUN J., NING Y., ZHAO Z., 2011 – Comparative study of Sarma's method and the discontinuous deformation analysis for rock slope stability analysis. *Geomechanics and Geoengineering*, **6**, 4: 293–302.
- TURNER A.K., SCHUSTER R.L. (red.), 1996 – Landslides Investigation and Mitigation Special Report 247. National Academy Press Washington, D.C.
- WOJCIECHOWSKI T., NESCIERUK P., MICHALSKI A., PER-SKI Z., WAMUZ B., 2014 – Metody monitoringu geodynamicznego stosowane przez Państwową Służbę Geologiczną. *W: I Ogólnopolskie Sympozjum Geointerdyscyplinarnych Metod Badawczych*. Warszawa.
- WÓJCIK A., JANKOWSKI L., KOPCIKOWSKI R., MALATA T., MARCINIĘC P., NESCIERUK P., 1995 – Opracowanie formalnych jednostek litostratygraficznych Karpat zewnętrznych i zapadliska przedkarpackiego dla celów Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- WOJCIECHOWSKI T., 2019 – Podatność osuwiskowa Polski. *Prz. Geol.*, **67**, 5: 320–325.
- WÓJCIK A., 2015 – Błędy rozpoznania i zabezpieczenia – czyli jak nie należy wykonywać prac stabilizacyjnych. *W: Ogólnopolska Konferencja O!suwisko. Materiały konferencyjne*. Wieliczka, 19–22.05.2015 r.: 82–83. PIG-PIB, Warszawa.
- WÓJCIK A. (red.), 2016 – Kopiec Kościuszki i jego podłoże geologiczne: atlas – przewodnik. Urząd Miasta Krakowa. Wydział Kształtowania Środowiska.
- WÓJCIK A. (red.), 2019 – Atlas Osuwisk Miasta Krakowa. UM Kraków.
- WÓJCIK A., KOS J., 2017 – Osuwiska i zagrożenie budowli inżynierskich – sukcesy i porażki przy stabilizacji osuwisk w świetle wierceń i obserwacji inklinometrycznych na przykładzie Sadowia, Kąclowej i Kopca Kościuszki. *W: XXXII Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji*. Wisła, 07–10.03.2017 r.
- WÓJCIK A., WARMUZ B., 2009 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gm. Świątniki Górne, pow. krakowski-ziemski, woj. małopolskie. Internet: <http://geportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> [dostęp 29.06.2020 r.].
- WÓJCIK A., KOS J., JURCZAK S., 2017 – Rozpoznanie i próby zabezpieczenia osuwiska w Kurowie (Pogórze Rożnowskie, Karpaty Zewnętrzne). *Prz. Geol.*, **65**, 9: 576–585.
- WYSOKIŃSKI L., 2011 – Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Wydaw. ITB, Warszawa.
- ZABUSKI L., 2013 – Ocena procesów osuwiskowych na podstawie wyników pomiarów inklinometrycznych. *Prz. Geol.*, **61**, 4: 248–256.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L., 1999 – Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia, modelowanie, obliczenia stateczności. Wydaw. IBW PAN, Gdańsk.
- ŻYTKO K., ZAJĄC R., GUCIK S., RYŁKO W., OSZCZYPKO N., GARLICKA I., NEMČOK J., ELIAŠ M., MENČIK E., STRANIK Z., 1989 – Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their foreland 1:500 000. *W: Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland* (red. D. Poprawa, J. Nemčok). Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SUMMARY

Geological works were carried out in the area of selected landslides to determine geological and engineering parameters through laboratory tests, and to document the slip surface on the basis of analysis of drill cores. The results allowed constructing calculation sections which are the basis for the calculation of slope stability indicators of individual landslide areas.

The adjustment of the slip surface resulting from the laboratory test results and inclinometric measurement re-

sults developed to the models are very similar for most landslides.

The paper proposes procedures for the development of geological and engineering documentation on landslides. Too shallow geological recognition is the most common reason for incorrect documentation of such areas. A proper double core drilling technique eliminates errors of too shallow or incorrect recognition of the substrate and is recommended for conducting research especially in the Flysch Carpathians.