

## Wykorzystanie przypowierzchniowych badań geofizycznych w rozpoznaniu budowy geologicznej na przykładzie stref osuwiskowych w Karpatach

Szymon Ostrowski<sup>1,2</sup>, Barbara Rybak-Ostrowska<sup>3</sup>, Marcin Lasocki<sup>1,2</sup>



S. Ostrowski

B. Rybak-Ostrowska

M. Lasocki

**Application of near-surface geophysical survey for recognition of the geology of landslide areas in the Carpathians – a case study.** *Prz. Geol.*, 61: 67–73.

*Abstract.* The paper presents three examples of application of geophysical surveys carried out by the PBG Ltd. for the recognition of internal structure, geological background and mechanical properties of near-surface rock medium at major landslides in the Polish Outer Carpathians. Geophysical data were used for developing an accurate geological model of the landslides. Geological features that cannot be detected by other means, e.g. faults in bedrock, and exact location and shape of the shear plane were delineated in two-dimensional mode on the sections.

**Keywords:** near-surface geophysics, electrical resistivity tomography, seismic refraction profiling, landslide, Outer Carpathians



Po śnieżnej zimie, wilgotnej wiosnie i długotrwałych opadach deszczu w czerwcu 2010 r., w wielu miejscach polskich Karpat wystąpiły katastrofalne procesy osuwiskowe, niszcząc domy, infrastrukturę drogową i duże obszary zagospodarowane rolniczo. Kilka osuwisk, które dotknęły obszarów zabudowanych, było szeroko komentowanych w mediach.

W roku 2011 autorzy artykułu zostali zaangażowani do wykonania badań geofizycznych, które miały na celu rozpoznanie budowy geologicznej podłoża osuwisk oraz wyznaczenie głębokości zasięgu koluwiów na niektórych osuwiskach objętych programem monitoringu. Wśród przebadanych lokalizacji, znajdowały się: osuwisko Łańnica w gminie Lanckorona, które zniszczyło część wioski, osuwisko Międzybrodzie Łaski, które dotknęło dużego osiedla domów letniskowych i całorocznych nad zalewem Międzybrodzkim i stwarza zagrożenie dla samego zalewu (przelanie zapory) oraz Milówka, którego aktywność spowodowała zniszczenie i wysiedlenie części wsi i częściowe zatamowanie doliny potoku Milówki.

W zastosowaniach inżynierskich, zwłaszcza związanych z odbudową zniszczonych obiektów liniowych i zabezpieczaniem czynnych osuwisk zagrażających infrastrukturze powszechnie prowadzone jest numeryczne modelowanie stabilności stoków osuwiskowych (Stopkiewicz & Cała, 2004; Cała, 2007). Do analiz stosowane są zarówno modele 2D jak i 3D oraz różne metody obliczeniowe. Stały wzrost mocy obliczeniowej komputerów pozwala stosować coraz bardziej wyrafinowane algorytmy modelowań, większą dyskretyzację modelu oraz pozwalają na uwzględnienie coraz bardziej złożonego modelu budowy geologicznej. Warunkiem prawidłowego prognozowania możliwości wystąpienia osuwiska za pomocą modeli numerycznych jest jednak prawidłowe rozpoznanie budo-

wy geologicznej podłoża i konstrukcja możliwie wiernego modelu geologicznego.

Także w zagadnieniach związanych z zagospodarowaniem terenu stosuje się coraz bardziej wysublimowane metody wyznaczania stref podatnych na procesy osuwiskowe. Metody te oparte są o analizy metadanych przestrzennych (metody GIS) i uwzględniają głównie dane powierzchniowe. Pełne zrozumienie procesów wymaga uzupełnienia danych powierzchniowych o model budowy geologicznej.

Wiercenia badawcze na obszarze osuwiska stosowane są zwykle w ograniczonej ilości, ze względów ekonomicznych i technicznych. Dostępność takich punktowych informacji o budowie geologicznej, jakimi są wiercenia, pozwala na stworzenie jedynie bardzo przybliżonego modelu geologicznego. W praktyce do modelowań matematycznych stosuje się ogólne dane literaturowe dotyczące parametrów mechanicznych, w najlepszym wypadku dane pochodzące z lokalnych prac kartograficznych.

Metody płytkiej prospekcji geofizycznej pozwalają na wierne, przestrzennie ciągłe rozpoznanie budowy geologicznej podłoża i mogą być z powodzeniem stosowane do tworzenia modelu geologicznego osuwiska i jego podłoża. Szczególnie wskazane wydaje się być połączenie dwóch grup metod: elektrooporowej w wariacie tomograficznym (ERT – *electrical resistivity tomography*), dającej przestrzenny (przeważnie stosowany jako 2D) obraz rozkładu oporności skał – wartości łatwej do skorelowania z litologią oraz jednej z metod sejsmicznych – profilowań refrakcyjnych, tomografii refrakcyjnej lub metody analizy fal powierzchniowych (MASW), dających obraz rozkładu prędkości fal sejsmicznych, które można korelować z parametrami mechanicznymi skał. Zintegrowana interpretacja obu metod geofizycznych pozwala na precyzyjne określenie głębokości powierzchni poślizgu osuwisk i miąższości koluwiów, określenie rozmieszczenia pakietów skalnych o

<sup>1</sup>Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; szymon.ostrowski@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup>Przedsiębiorstwo Badań Geologicznych Sp. z o. o., ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa.

<sup>3</sup>Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa.

zróznicowanej litologii, a często także wyznaczenie położenia warstw dla pakietów oraz wyznaczania ewentualnych stref uskokowych.

Model budowy geologicznej, uzyskany na podstawie badań geofizycznych i zawierający informacje z badań powierzchniowych, nie tylko pozwala prawidłowo konstruować założenia do numerycznych modeli stabilności stoku, ale także umożliwia zrozumienie natury zjawiska powstawania osuwiska w danej lokalizacji.

### METODYKA BADAŃ

Badania geofizyczne są stosowane w rozpoznaniu osuwisk od lat (Jongmans & Garambois, 2007 – i prace tam cytowane). Zwłaszcza metoda profilowań refrakcyjnych jest chętnie wykorzystywana, z uwagi na fakt, że określa głębokość powierzchni poślizgu (Thiel, 1975; Narwold & Owen, 2002). Metody elektrooporowe, tak jak i tomograficzne wersje metod sejsmicznych, zaczęto stosować w rozpoznaniu osuwisk dopiero w ostatniej dekadzie (Drahor i in., 2006; Friedel i in., 2006; Sass i in., 2008; Ostrowski i in., 2011; Ostrowski & Pacanowski, 2011), wraz z upowszechnieniem się aparatury pomiarowej i zwiększeniem mocy obliczeniowej komputerów osobistych. Wcześniej metody elektrooporowe, oparte na zasadzie sondowań, nie dawały zachęcających rezultatów ze względu na dużą horyzontalną zmienność ośrodka skalnego. Pomimo zastosowania nowej metodyki tomografii elektrooporowej, wyznaczanie powierzchni poślizgu i próby interpretacji wewnętrznej struktury osuwiska wyłącznie na podstawie tomografii elektrooporowej nadal napotyka na liczne trudności (Panek i in., 2008). Także mechaniczna interpretacja profili ERT oraz utożsamianie koluwiów z ośrodkiem nisko- lub wysokooporowym jest podejściem niewłaściwym i każdą lokalizację należy traktować indywidualnie (Ostrowski i in., 2011).

Prezentowane wyniki są tylko wybranymi przykładami wykorzystania metod geofizycznych do tworzenia modeli geologicznych osuwisk oraz określenia ich genezy.

W badaniach zastosowano dwie uzupełniające się metody z grupy metod geofizyki inżynierskiej: profilowania refrakcyjne i tomografię elektrooporową.

#### Profilowania refrakcyjne

Profilowania refrakcyjne (Milsom, 2003) wykorzystują fale sejsmiczne refrakcyjne, czyli załamane pod kątem granicznym na kontakcie dwóch ośrodków skalnych, z których ośrodek leżący niżej charakteryzuje się większymi prędkościami fal sejsmicznych. Warunek ten jest zawsze spełniony w przypadku osuwisk, ponieważ prędkości fal sejsmicznych dla koluwiów są zawsze nawet kilkukrotnie niższe niż prędkości w podłożu.

Opisywane badania wykonywane były metodą profilowania 24-kanalowym rozstawem pomiarowym, o długości 115 m. Odległości między kolejnymi odbiornikami (geofonami) wynosiły 5 m. Fale sejsmiczne wzbudzone były metodą udarową na obydwóch końcach i na środku rozstawu pomiarowego oraz w dwóch punktach oddalonych od jego końców o połowę długości rozstawu. Ze względu na

charakterystykę sygnału w badaniach zastosowano geofony o częstotliwości nominalnej 10 Hz.

Zastosowana metodyka pomiarów umożliwiła szczegółowe zróznicowanie prędkości fal sejsmicznych w przy powierzchniowej warstwie osadów oraz ciągłe śledzenie granic sejsmicznych zalegających na głębokości do około 20–40 m p.p.t. Wyznaczoną dolną granicę zinterpretowano jako główną powierzchnię poślizgu osuwiska.

#### Tomografia elektrooporowa

W metodzie tomografii elektrooporowej (ERT) do rozpoznania geologii wykorzystuje się pomiary oporności ośrodka skalnego (Loke, 2000; Loke 2012). Oporność elektryczna ośrodka zależy w głównej mierze od jego składu litologicznego oraz zawodnienia. Skały o drobnej frakcji mają ogólnie niższą oporność niż skały gruboziarniste i skały lite. Zawodnienie ośrodka w oczywisty sposób obniża oporność elektryczną, choć, zdaniem autorów, wpływ ten jest często przeszacowany.

W metodzie ERT kilkadziesiąt elektrod jest równomiernie rozmieszczonych wzdłuż profilu i połączonych z aparaturą pomiarową. Odległość między elektrodami dobiera się w zależności od planowanej rozdzielczości. Aparatura pomiarowa automatycznie dokonuje pomiaru oporności ośrodka skalnego, używając wszystkich kombinacji czteroelektrodowych, które spełniają warunki geometryczne układu pomiarowego (Loke, 2012). Inwersja opornościowa, czyli obliczeniowa iteracyjna procedura utworzenia optymalnego modelu opornościowego ośrodka skalnego o maksymalnym dopasowaniu do wyników pomiarów, prowadzona jest wspólnie dla całej macierzy pomiarów, co pozwala na wyznaczenie oporności pozornej bloków pomiarowych i – po interpolacji – utworzenie ciągłego przekroju zmian oporności ośrodka.

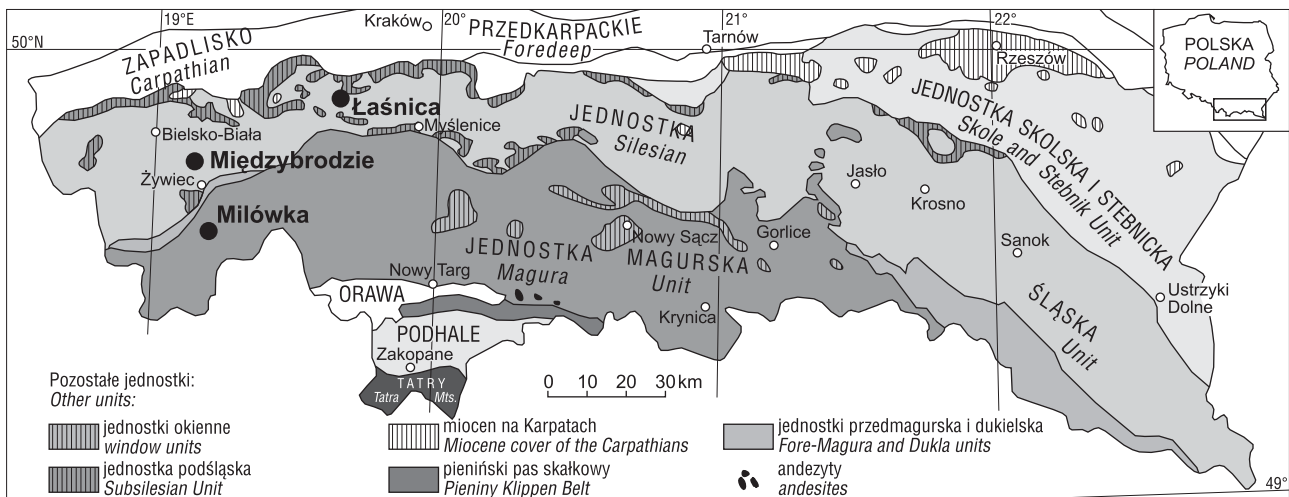
W opisywanych badaniach osuwisk zastosowano rozstawy pomiarowe o długości od około 300 do ponad 400 m, z odległościami między kolejnymi elektrodami wynoszącymi 5 m. Pomiary były wykonane układem Schlumbergera-Wennera (Loke, 2012). Zastosowane parametry akwizycji pozwoliły na rozpoznanie ośrodka do głębokości od 45 do blisko 80 m p.p.t.

### MIĘDZYPRODZIE BIAŁSKIE – ŁASKI

#### Tło geologiczne

Osuwisko położone jest w Beskidzie Małym, na wschodnim brzegu jeziora Międzybrodzkiego, na stokach masywu góry Żar. Teren objęty przez osuwisko jest intensywnie zabudowany przez budynki rekreacyjne i jednorodzinne. Dalszy rozwój osuwiska, zwłaszcza jeśli proces ten odbyłby się w sposób gwałtowny, stanowiłby poważne zagrożenie dla zbiornika Porąbka (Nescieruk i in., 2012).

Osuwisko rozwinięte jest na skałach należących do płaszczowiny śląskiej (ryc. 1), bloku Beskidu Małego (Nescieruk, 1996). Skały w rejonie osuwiska budują szerokopromienny fałd. Osuwisko położone jest na stoku konsekwentnym w obrębie południowego skrzydła antykliny Wielkiej Puszczy i północnego skrzydła synkliny góry Żar. Upady warstw, stwierdzone w sąsiedztwie osuwiska,



Ryc. 1. Uproszczona mapa jednostek geologicznych polskich Karpat z lokalizacją badań (za Żytko i in., 1989; uproszczone)

Fig. 1. Simplified map of the geological units of the Polish Carpathians with studied locations indicated (from Żytko et al., 1989; simplified)

wynoszą około 20°S. Na zachód od osuwiska występuje strefa uskoku o rozciągłości subpołudnikowej wykorzystywana przez dolinę Soły.

Podłoże osuwiska zbudowane jest z dolnokredowych warstw godulskich dolnych (Nescieruk, 1996). Dane kartograficzne wskazują, że bezpośrednio w podłożu i na północ od osuwiska występują piaskowce gruboławicowe z wkładkami łupków, natomiast na południe od osuwiska występują wyższe ogniwa warstw godulskich dolnych z przewagą łupków, co nasuwa przypuszczenie, że w strefie osuwiska występują przeławienia skał ze zwiększonym udziałem łupków.

### Wyniki badań

Na terenie osuwiska wykonano 2 profile metodą refrakcyjnego profilowania sejsmicznego oraz jeden profil tomografii geoelektrycznej (ERT). Na rycinie 2 zaprezentowano profil sejsmiczny (ryc. 2a) i profil ERT przebiegający po tej samej linii (ryc. 2b). Na podstawie profili sejsmicznych można wyznaczyć zasięg i głębokość niszy osuwiskowej. Warstwa przypowierzchniowa, charakteryzująca się prędkościami fali sejsmicznej około 0,4 km/s, jest interpretowana jako silnie zwietrzała. Dodatkowo mogą w niej występować otwarte szczeliny powstałe w trakcie ostatniego etapu aktywności osuwiska. Niższa warstwa o prędkości od 1 do 1,4 km/s jest interpretowana jako koluwia. Miąższość tak wyznaczonych koluwiów dochodzi do 20 m w dolnej części osuwiska. Zwraca uwagę występowanie dwóch oddzielonych od siebie nisz osuwiskowych o głęboko położonej powierzchni ścięcia. Poniżej koluwiów występuje skalne podłoże, charakteryzujące się prędkościami fal około 3 km/s. Prędkości takie są typowe dla nienaruszonych piaskowców gruboławicowych, jakich można spodziewać się w podłożu osuwiska.

Na przekroju ERT (ryc. 2b) można wyznaczyć trzy typy ośrodka skalnego. Skały charakteryzujące się opornościami powyżej 200  $\Omega$ m i stosunkowo jednorodnym rozkładem oporności, w głębszych partiach przekroju, interpretowane są jako piaskowce gruboławicowe z drob-

nymi przewarstwieniami skał drobnoklastycznych. Ośrodek o niejednorodnej oporności, pomiędzy 10 a 300  $\Omega$ m interpretowany jest jako koluwia, w dolnej części prawdopodobnie nawodnione. Partie przypowierzchniowe, o wysokiej oporności, powyżej 500  $\Omega$ m są interpretowane jako partie koluwiów, w których występują otwarte szczeliny. Na przekroju ERT zwraca uwagę kształt granicy pomiędzy piaskowcami a koluwiami w południowo-zachodniej części profilu. Strome i cechujące się znacznym gradientem granice sugerują występowanie przestrzennie skoncentrowanego rozzerwania pakietu piaskowców oraz mogą wskazywać na niestabilność elewacji zbudowanych z kompleksów piaskowcowych na pozostałej części przekroju. Profil ERT równocześnie nie wskazuje na założone pierwotnie występowanie zwiększonego udziału przeławień drobnoklastycznych w podłożu osuwiska. Zsuw nastąpił prawdopodobnie po ławicy łupkowej o niewielkiej miąższości, co zdaje się być potwierdzone przez wiercenia wykonane na osuwisku w ramach programu SOPO.

### ŁAŃNICA (LANCKORONA)

#### Tło geologiczne

Osuwisko położone jest na północnym, łagodnym stoku doliny potoków Ostrowiec i Cedron, we wsi Łańnica. Większość obszaru osuwiska jest zabudowana domami jednorodzinnymi i budynkami gospodarczymi. Najwyższa część osuwiska obejmuje sady i pola. Przez obszar osuwiska przebiega lokalna droga asfaltowa.

Skały budujące podłoże osuwiska (ryc. 1) należą do płaszczowiny śląskiej (Książkiewicz 1974a, 1974b), występują w położeniu normalnym, a ich upady sporadycznie przekraczają 15° na południe. Dolina Cedronu i przedłużająca ją dolina potoku Ostrowiec założona jest na uskoku Cedronu. Skały podłoża zbudowane są z eocenijskich i oligocenijskich piaskowców płytowych i skorupowych z podrzędną ilością łupków należących do warstw krośnieńskich.

Zastanawiające jest, że osuwisko występuje na stoku o nieznacznym nachyleniu, a na dotychczasowym obrazie kartograficznym, oprócz konsekwentnego ułożenia warstw, trudno doszukać się warunków szczególnie sprzyjających procesom osuwiskowym. Osuwisko uaktywniło się poprzednio w 1960 r. (Ziętara, 1969), a po ostatnim etapie aktywności latem 2010 r. jest intensywnie badane z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi, w tym lotniczego skaningu laserowego (Graniczny i in., 2012).

### Wyniki badań

Na obszarze osuwiska wykonano 4 profilowania refrakcyjne oraz 2 profile ERT. W artykule zaprezentowano jedynie wyniki z profili przebadanych obiema metodami.

Badania sejsmiczne (ryc. 3a) wykazały występowanie ośrodka trójwarstwowego, miejscami dwuwarstwowego (efekt znacznych zmian spowodowanych aktywnością osuwiska). Najpłytsza warstwa, o prędkościach fali około 0,4 km/s, interpretowana jest jako warstwa glebowa, silnie zwietrzała, często z otwartymi szczelinami. Warstwa środkowa, o prędkościach w przedziale 1,3–1,8 km/s, zbudowana jest z koluwiów, natomiast najniższa warstwa, o prędkościach od 2,2 do 2,5 km/s, stanowi skalne podłoże. Charakterystyczne jest, że podłoże w dolnej części osuwiska cechuje się znacznie niższymi prędkościami fali sejsmicznej. Na podstawie profilowań sejsmicznych określono kształt oraz zasięg niszy osuwiskowej.

Wyniki badań metodą ERT (ryc. 3b) wykazały występowanie w podłożu osuwiska istotnej granicy geologicznej, nie stwierdzonej dotychczas tradycyjnymi metodami. W dolnej części stoku występuje ośrodek skalny niskooporowy, interpretowany jako nieprzepuszczalne skały łupkowe lub skały związane z uskokiem. W górnej części osuwiska występuje ośrodek o oporności 100-200  $\Omega$ m, interpretowany jako warstwy krośnieńskie z przewagą piaskowców. W tej strefie można wyznaczyć kompleks skał zapadających konsekwentnie, o podwyższonej zawartości łupków.

Osuwisko powstało zatem w miejscu, gdzie warstwa wodonośna zbudowana z piaskowców warstw krośnieńskich podparta jest od południa skałami nieprzepuszczalnymi, wzdłuż strefy uskokowej nierozpoznanej dotychczas w rejonie Łaśnicy, leżącej na przedłużeniu uskoku Cedronu, kartowanego na północ od Lanckorony (Ryłko, 2006). Opisana sytuacja geologiczna wskazuje na możliwość występowania w przyszłości katastrofalnych zdarzeń osuwiskowych wzdłuż doliny Cedronu, jednocześnie prezentowane metody geofizyczne mogą pozwolić na określenie potencjalnych stref zagrożonych.

### MILÓWKA

#### Tło geologiczne

Osuwisko położone jest na północnym zboczu potoku Milówki, w rejonie przysiółka Siedloki. Na obszarze objętym procesami osuwiskowymi położonych było kilka gospodarstw, obecnie zniszczonych i wysiedlonych. Pozostałe tereny, pierwotnie wykorzystywane rolniczo, obecnie

zostały porzucone z uwagi na skalę zniszczeń. Dolna część jezora osuwiskowego zniszczyła lokalną drogę i częściowo zatamowała potok Milówki.

Skały podłoża osuwiska (ryc. 1), należące do płaszczowiny magurskiej (Burtan i in., 1956), zapadają pod kątem 20–30° na wschód i są w położeniu normalnym. Górnej części profilu, podłoże osuwiska buduje paleogeński kompleks piaskowcowo-łupkowy, określane jako piaskowce magurskie facji glaukonitowej i muskowitzowej. W dolnej części stoku występuje kompleks piaskowców cienko i średnioławicowych ze znacznym udziałem łupków, należący do eoceńskich warstw hieroglifowych.

Po przeprowadzeniu analizy dostępnych danych geologicznych spodziewano się, że głównym czynnikiem powodującym procesy osuwiskowe była litologia dolnej części stoku, jednak przestrzenny zasięg niszy nie pokrywał się z zasięgiem warstw hieroglifowych.

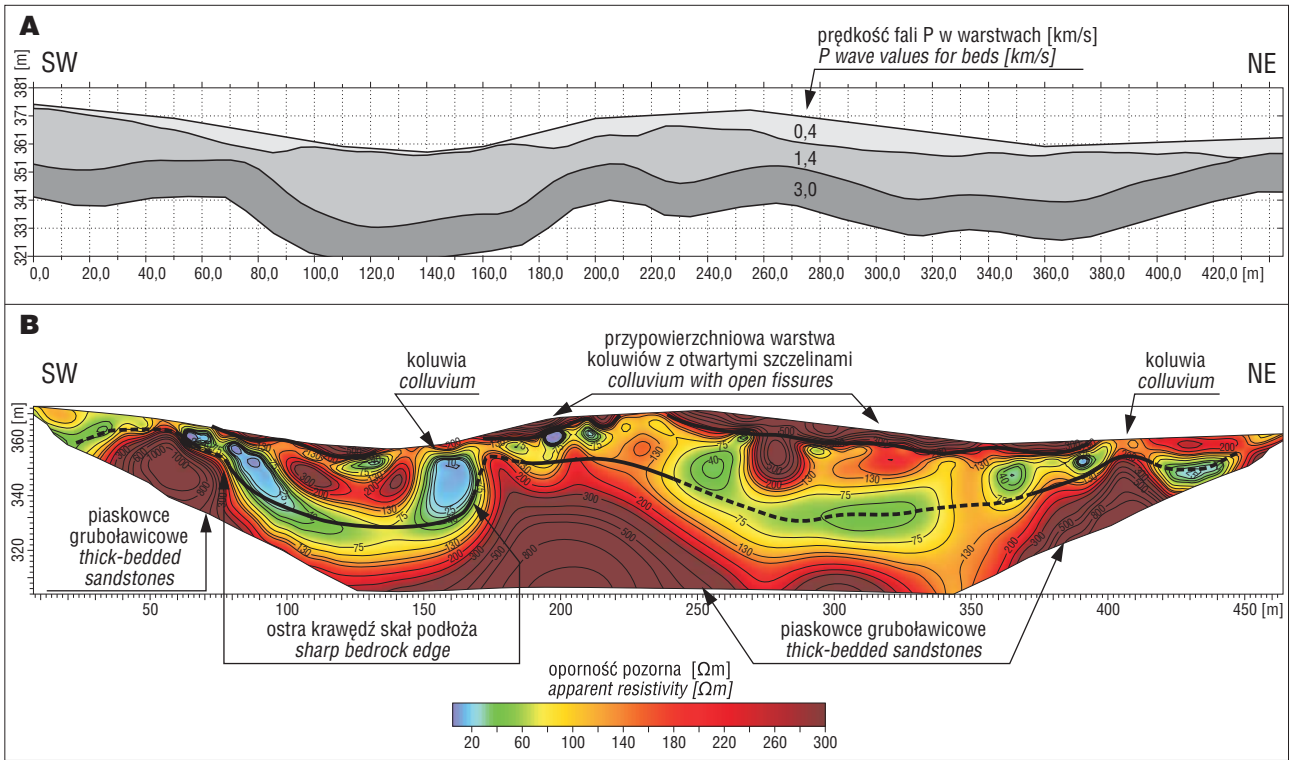
### Wyniki badań

Na terenie osuwiska wykonano dwa profile sejsmiczne metodą profilowania refrakcyjnego oraz dwa profile ERT o przebiegu pokrywającym się z profilami sejsmicznymi. Poniżej prezentujemy profil prostopadły do osuwiska, w przybliżeniu przebiegający równoległe do generalnego kierunku zapadania warstw. Profil sejsmiczny (ryc. 4a) pozwolił na wyznaczenie spągu koluwiów oraz zasięgu przestrzennego niszy osuwiskowej. Prędkości wyznaczone w koluwiach, około 2 km/s, mieszczą się w górnych przedziałach prędkości typowych dla koluwiów i mogą być związane z uśrednieniem prędkości koluwiów i partii podłoża o anomalnie niskich prędkościach fali. Prędkość 3 km/s, występująca w podłożu, jest typowa dla piaskowców występujących w podłożu.

Wyniki pomiarów metodą ERT (ryc. 4b) odbiegają nieznacznie od wyników profilowań sejsmicznych, zwłaszcza w centralnej części niszy. Na przekroju ERT można jednoznacznie wyznaczyć spąg koluwiów, które stanowią ośrodek wysoce niejednorodny pod względem wartości oporności. Poniżej, w obrębie podłoża, wyróżniono wysokooporowe pakiety interpretowane jako gruboławicowe piaskowce oraz partie o niższej oporności interpretowane jako kompleksy piaskowców ze znacznym udziałem łupków. Warstwy tego kompleksu zapadają pod kątem około 30° na wschód. W centralnej części profilu sejsmicznego występują strefy nieciągłości odpowiadające prawdopodobnie serii uskoków. Na przekrojach natomiast nie stwierdzono jednoznacznie niskooporowego ośrodka, który można by interpretować jako łupkowe partie warstw hieroglifowych. Na tej podstawie stwierdzono, że osuwisko założone jest prawdopodobnie na obszarze silnie zaangażowanym tektonicznie (seria uskoków) i nie jest związane wyłącznie z litologią skał podłoża.

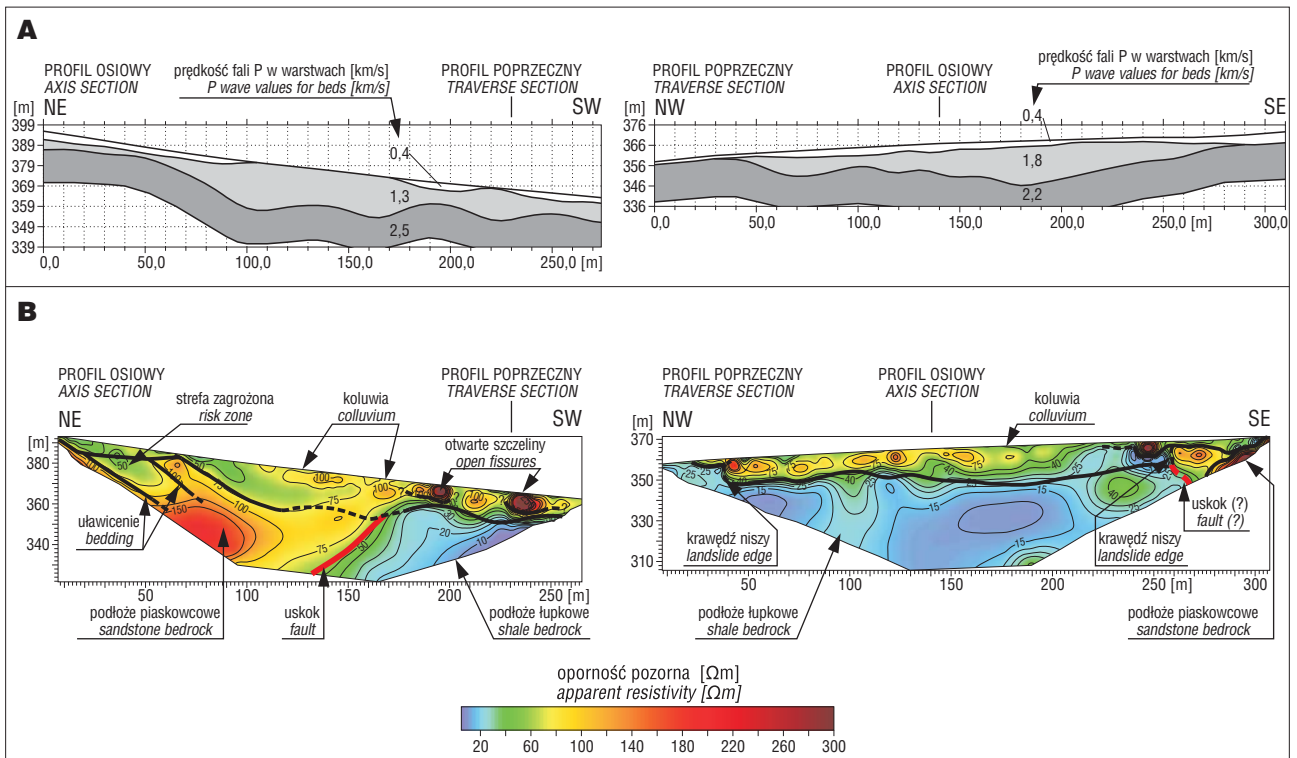
### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zrozumienie genezy osuwisk, przeprowadzenie prawidłowego modelowania numerycznego ich stabilności i podjęcie prawidłowych środków zabezpieczających na nieaktywnych i aktywnych osuwiskach wymaga zbudowania możliwie dokładnego modelu budowy geologicznej



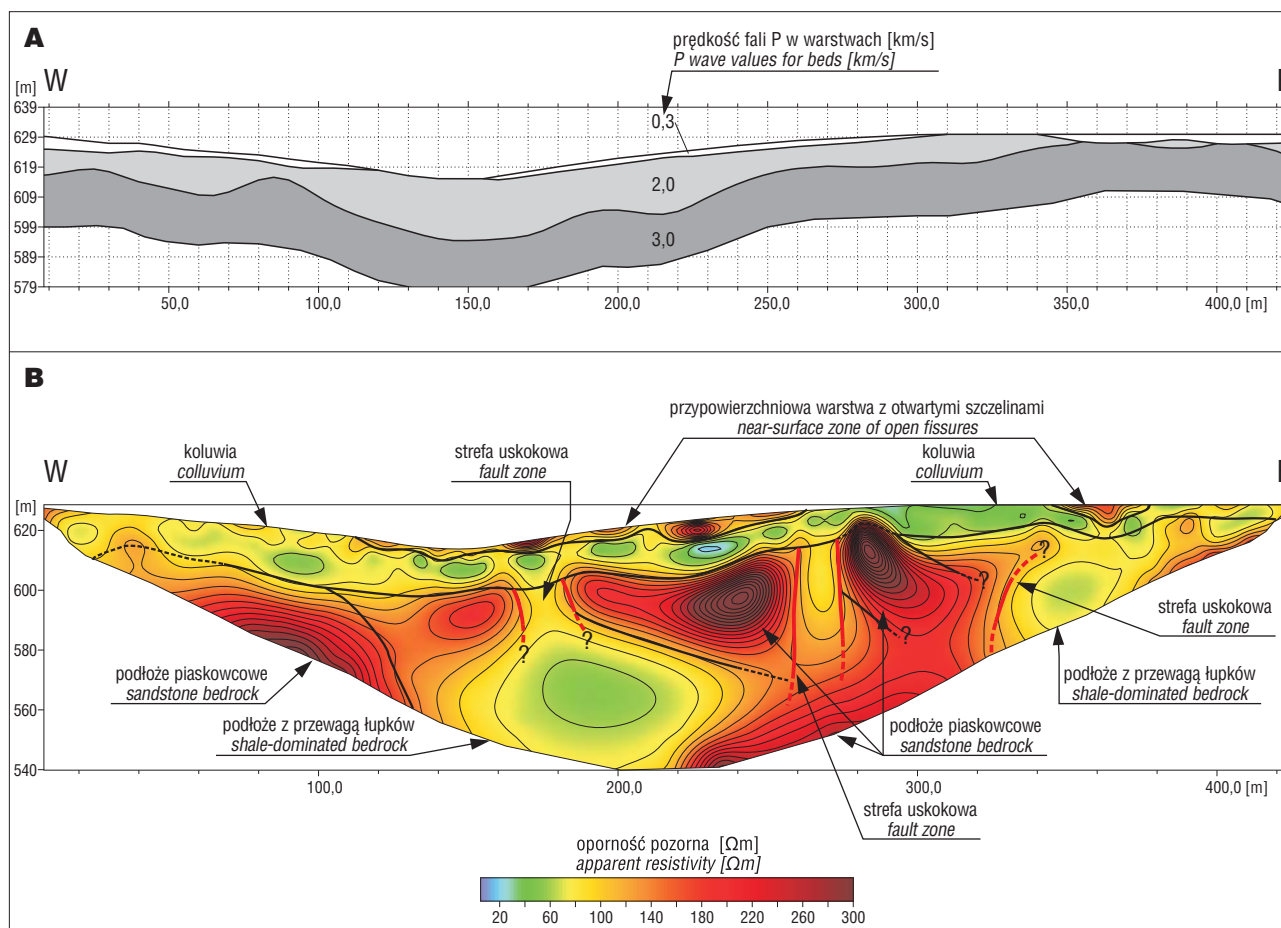
**Ryc. 2.** Przekroje geofizyczne prostopadłe do osi osuwiska w Międzybrodziu Bialskim – Łaski. 2A – przekrój sejsmiczny uzyskany metodą profilowania refrakcyjnego. 2B – przekrój oporności pozornej uzyskany za pomocą metody ERT wraz z interpretacją geologiczną

**Fig. 2.** Traverse geophysical sections (sub-perpendicular to the landslide axis), Międzybrodzie Bialskie – Łaski landslide. 2A – seismic section obtained by means of the seismic refraction profiling method. 2B – apparent resistivity section, obtained by means of the ERT method, with geological interpretation



**Ryc. 3.** Przekroje geofizyczne przez osuwisko w Łańcicy (Lanckorona). 3A – przekroje sejsmiczne uzyskane metodą profilowania refrakcyjnego. 3B – przekroje oporności pozornej uzyskane za pomocą metody ERT wraz z interpretacją geologiczną

**Fig. 3.** Geophysical sections, Łańcica (Lanckorona) landslide. 3A – seismic sections obtained by means of the seismic refraction profiling method. 3B – apparent resistivity sections, obtained by means of the ERT method, with geological interpretation



**Ryc. 4.** Przekroje geofizyczne prostopadłe do osi osuwiska w Milówce. 4A – przekrój sejsmiczny uzyskany metodą profilowania refrakcyjnego. 4B – przekrój oporności pozornej uzyskany za pomocą metody ERT wraz z interpretacją geologiczną  
**Fig. 4.** Traverse geophysical sections (sub-perpendicular to the landslide axis), Milówka landslide. 4A – seismic section obtained by means of the seismic refraction profiling method. 4B – apparent resistivity section, obtained by means of the ERT method, with geological interpretation

osuwisk i ich podłoża. Poza pracami kartograficznymi dane geologiczne z wierceń czy dane z inklinometrów i piezometrów są przeważnie słabo dostępne i rozmieszczone punktowo na powierzchni osuwisk. Badania z wykorzystaniem metod płytkiej geofizyki (geofizyki inżynierskiej), w szczególności tomografii elektrooporowej i metod sejsmiki refrakcyjnej, mogą z powodzeniem uzupełnić dane o przestrzenny, ciągły rozkład kompleksów skalnych, zwłaszcza przy możliwości kalibracji metod geofizycznych z otworami wiertniczymi.

Informacje pochodzące z badań metodami płytkiej geofizyki mogą być stosowane do:

- wyznaczania granic skał o znacząco różnych parametrach mechanicznych, takich jak spąg koluwiów;
- określania przybliżonej litologii skał;
- wyznaczania upadów (pozornych i rzeczywistych) pakietów skalnych;
- wyznaczania stref uskokowych;
- określania resztkowych naprężeń w masywie skalnym.

Zastosowanie metod geofizycznych w rozpoznaniu budowy geologicznej osuwisk jest tylko przykładem wykorzystania tych metod do budowy modeli geologicznych. Badania takie mogą być szeroko stosowane w zagad-

nieniach wymagających szczegółowego poznania skomplikowanej budowy geologicznej, takich jak rozpoznanie stref osuwiskowych, badania głębokiego podłoża budowlanego, rozpoznanie zbiorników wód podziemnych oraz w ochronie środowiska.

## LITERATURA

- BURTAN J., SOKOŁOWSKI S., SIKORA W. & ŻYTKO K. 1956 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, Arkusz Milówka (1029).
- CAŁA M. 2007 – Convex and concave slope stability analysis with numerical methods. Arch. Mining Sc., 52 (1): 75–89.
- DRAHOR M.G., GÖKTÜRKLER G. & BERGE M.A. 2006 – Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from Turkey. Env. Geol., 50: 147–155.
- FRIEDEL S., THIELEN A. & SPRINGMAN S.M. 2006 – Investigation of the slope endangered by rainfall induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing. J. Applied Geoph., 60: 100–114.
- GRANICZNY M., KAMIŃSKI M., PIĄTKOWSKA A. & SURAJA M. 2012 – Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty Zewnętrzne. Prz. Geol., 60: 89–94.
- JONGMANS D. & GARAMBOIS S. 2007 – Geophysical investigation of landslides: a review. Bull. de L'Soc. Geol. de Fr., 178: 101–112.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1974a – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, Arkusz Sucha Beskidzka (1014).

- KSIAŻKIEWICZ M. 1974b – Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1: 50 000, Arkusz Sucha Beskidzka (1014).
- LOKE M.H. 2000 – Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: 1–59. Lecture notes. GeoTomo Ltd.
- LOKE M.H. 2012 – Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys: 1–172. GeoTomo Software Ltd.
- MILSON J. 2003 – Field geophysics. Third edition. Wiley, London, 1–232.
- NARWOLD C.F. & OWEN W.P. 2002 – Seismic refraction analysis of landslides. Proceedings of the Geophysics 2002 conference, Los Angeles, California.
- NEŚCIERUK P. 1996 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, Arkusz Bielsko Biała (1012).
- NEŚCIERUK P., PERSKI Z., WARMUZ B., WOJCIECHOWSKI T. & WÓJCIK A. 2012 – Zagrożenie sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach na przykładzie zbiornika w Porąbce w świetle monitoringu osuwiska Łaski. Sympozjum ogólnokrajowe Hydrotechnika XIV 2012: 25–37.
- OSTROWSKI S. & PACANOWSKI G. 2011 – Płytkie badania geofizyczne z wykorzystaniem sejsmiki inżynierskiej oraz tomografii elektrooporowej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 446: 215–224.
- OSTROWSKI S., RYBAK-OSTROWSKA B. & LASOCKI M. 2011 – Application of electric resistivity tomography in Carpathian landslide monitoring. Conference and Technical Exhibition – European Association of Geoscientists and Engineers (2011), 73: I021.
- PANEK T., HRADECKY J. & SILHAN K. 2008 – Application of electrical resistivity tomography (ERT) in the study of various types of slope deformations in anisotropic bedrock: case studies from the flysch Carpathians. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 42: 57–73.
- RYŁKO W. 2006 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, Arkusz Kalwaria Zebrzydowska (995).
- SASS O., BELL R., & GLADE T. 2008 – Comparison of GPR, 2D – resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany). *Geomorphology*, 93: 89–103.
- STOPKOWICZ A. & CAŁA M. 2004 – Analiza stateczności zboczy zlokalizowanych we fliszu karpackim z zastosowaniem metod numerycznych. XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górnotworu. *Geotechnika i Budownictwo Specjalne*: 519–529
- THIEL K. 1975 – Zarys metodyki badań i prognozowania osuwisk na zboczach zbiorników wodnych we fliszu karpackim. *Mater. Bad. Seria specjalna*, 4: 202–219.
- ZIĘTARA T. 1969 – W sprawie klasyfikacji osuwisk w Beskidach zachodnich. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 3: 111–131.
- ŻYTKO K., ZAJĄC R., GUCIK S., RYŁKO W., OSZCZYPKO N., GARLICKA I., NEMČOK J., ELIAŠ M., MENČIK E. & STRÁNIK Z. 1989 – Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their foreland. [W:] *Poprawa D., Nemčok J. (red.) Geological atlas of the Western Outer Carpathians and their foreland.* Państwowy Instytut Geologiczny, Wydawnictwa Geologiczne Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 3.09.2012 r.

Po recenzji akceptowano do druku 31.10.2012 r.

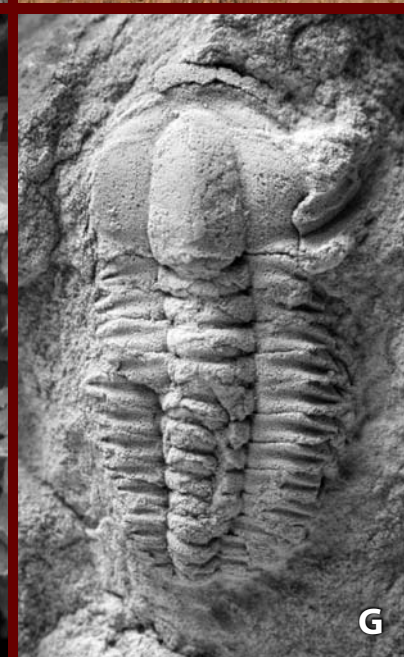
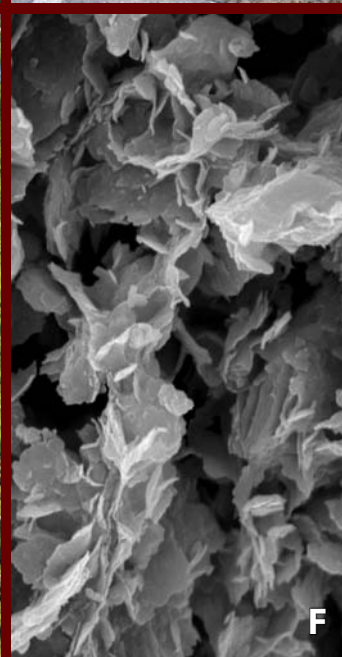
# PRZEGLĄD GEOLOGICZNY



Cena 12,60 zł (w tym 5% VAT)

TOM 61 Nr 1 (STYCZEŃ) 2013

Indeks 370908 ISSN-0033-2151



II  
POLSKI  
KONGRES  
GEOLOGICZNY

Osuwiska  
Stratygrafia  
Geologia inżynierska  
Hydrogeologia  
Geoturystyka  
Historia geologii  
Informacja geologiczna



**Zdjęcie na okładce:** **A** – Rozstaw geofonów przygotowany do rejestracji metodą MASW. Fot. S. Ostrowski. **B** – Skarpa główna osuwiska w Zawadzie koło Tarnowa. Fot. S. Ostrowski. **C** – Wzmacnianie podłoża gruntowego w technologii Drenażu Pionowego – Południowa Obwodnica Gdańka. Fot. własność firmy Menard Polska. **D** – Droga zniszczona w wyniku przebiecia hydraulicznego w trakcie powodzi rzeki Białej w 2010 r. Okolice Grybowa. Fot. S. Ostrowski. **E** – Wzmacnianie podłoża gruntowego w technologii kolumn CMC – Południowa Obwodnica Gdańka. Fot. własność firmy Menard Polska. **F** – Mikrostruktura pasty gruntowej przygotowanej z neogeńskich ilów pobranych z rejonu Warszawa-Stegny. **G** – *Stenuella polonica* Czarnocki, 1926, *kranidium* i *toraks*, MWG ZI/29/1534 (Muzeum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, kolekcja Stanisława Orłowskiego), poziom *Holmia-Schmidtellus*, drugi oddział kambru Ociesęki, Góry Świętokrzyskie, długość okazu: 24,4 mm, okaz napyłony chlorkiem amonu przed sfotografowaniem. Fot. A. Żylińska

**Cover photo:** **A** – Geophone spacing for the MASW method recording. Photo by S. Ostrowski. **B** – Main escarpment of landslide at Zawada near Tarnów. Photo by S. Ostrowski. **C** – Soil improvement by prefabricated Vertical Drains – South Ring Road of Gdańsk. Photo by Menard Polska Company. **D** – Road destroyed by hydraulic breakdown during the Biała River flood in 2010, near Grybów. Photo by S. Ostrowski. **E** – Improvement of soft soil using the CMC columns – South Ring Road of Gdańsk. Photo by Menard Polska Company. **F** – Microstructure of remoulded specimen of Neogene clays collected from the Warsaw-Stegny area. **G** – *Stenuella polonica* Czarnocki, 1926, *cranidium* with *thorax*, MWG ZI/29/1534 (Museum of the Faculty of Geology, University of Warsaw, collection of Stanisław Orłowski), *Holmia-Schmidtellus* Zone, Cambrian Series 2 Ociesęki, Holy Cross Mountains length of specimen: 24.4 mm, specimen coated with ammonium chloride before photographing. Photo by A. Żylińska