

NUMERYCZNE MODELOWANIE DEFORMACJI STOKU OSUWISKOWEGO – MAŚLANA GÓRA W SZYMBARKU KOŁO GORLIC

**Numerical modelling of the landslide slope deformation –
Maślana Góra in Szymbark near Gorlice**

Wojciech RĄCZKOWSKI¹ & Lesław ZABUSKI²

*¹Państwowy Instytut Geologiczny,
Oddział Karpacki;*

ul. Skrzatów, 131-560 Kraków;

e-mail: wojciech.raczkowski@pgi.gov.pl

*²Instytut Budownictwa Wodnego PAN,
ul. Kościerska 7, 80-328 Gdańsk;
e-mail: lechu@ibwpan.gda.pl*

Treść: W pracy przedstawiono metodę i wyniki numerycznego modelowania procesów deformacji osuwiska na stoku Maślanej Góry w okolicach Szymbarku k. Gorlic (Beskid Niski). Jest to stare, rozległe osuwisko o skomplikowanej strukturze i o zaawansowanych deformacjach, jednak wciąż aktywne. W masywie skalnym zbocza przeważają słabe i miękkie łupki ilaste. Symulacja numeryczna zsuwu przy zastosowaniu programu FLAC 2D opartego na metodzie różnic skończonych pozwoliła na oszacowanie wpływu warunków wodnych na aktywność osuwiska i na wielkość potencjalnego przemieszczenia. Wyniki symulacji wykazały, że równoczesny zsuw całego zbocza jest mało prawdopodobny, natomiast możliwe są zsuwy lokalne o względnie małym zasięgu. Zwrócono również uwagę na możliwość interpretacji procesów deformacji zbocza na podstawie kształtu krzywych obliczonego przemieszczenia w wytypowanych profilach pionowych.

Słowa kluczowe: osuwisko, flisz karpacki, model numeryczny

Abstract: The paper presents the method and results of numerical modelling of deformations on the landslide slope Maślana Góra in neighbourhood of Szymbark near Gorlice (Beskid Niski Mts.). It is complex, large landslide in advanced stage, but still active. The slope is composed of weak and soft clay shale. Numerical analysis performed using FLAC 2D program, based on finite difference method allowed to estimate the influence of water conditions on the landslide activity. It has been proved that the slide probability of the whole slope in the same time is low, but the zones having smaller extent can move gradually. Attention has been paid on the possibility of the interpretation of deformation processes basing on the displacement curves in vertical profiles.

Key words: landslide, Carpathian flysch, numerical model

OSUWISKO LUDOMIRA SAWICKIEGO

Jak na to wskazują badania osuwisk w rejonie Szymbarku (Gil *et al.* 1974, Wójcik *et al.* 2006), powstanie osuwisk na stokach tej części Beskidu Niskiego można wiązać z okresem wczesnego i późnego holocenu. Osuwiska powstałe w tym okresie ulegały cyklicznemu odnawianiu przy ekstremalnie wysokich opadach atmosferycznych, na co wskazują badania Gila (1997), Gila & Bochenka (1998), Gila & Kotarby (1979), Daukszy & Kotarby (1973). Fakt ten potwierdzają badania dendrogeomorfologiczne prowadzone m.in. na opisywanych stokach osuwiskowych (Krapiec & Rączkowski 2005).

Osuwisko rozwinęło się na obszarze występowania utworów płaszczowiny magurskiej (Świdziński 1946, Sikora 1970, Bober & Oszczytko 1973). W jego podłożu (Fig. 1) występują warstwy magurskie, z których zbudowane są szczyty Maślanej Góry i Jeleniej Góry. Inne ogniwa są drugorzędnie sfałdowane. W tektonice obszaru można wyróżnić dwa duże elementy: synklinę Maślanej Góry i antyklinę Szymbarku. Jądro synkliny wypełniają glaukonitowe piaskowce magurskie, które ku południu przechodzą w pstre łupki, piaskowce glaukonitowe (z Mutnego) oraz warstwy inoceramowe.

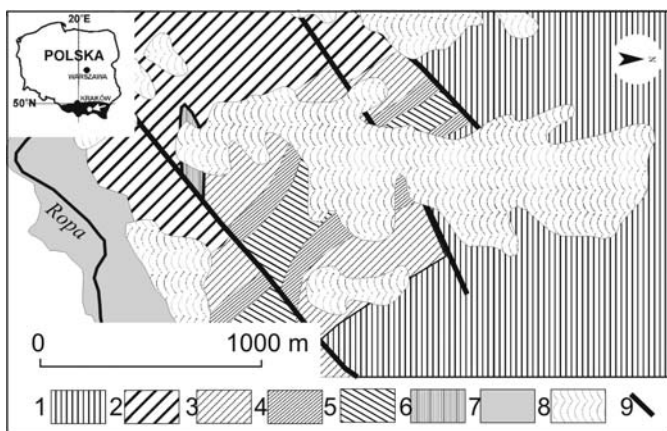


Fig. 1. Budowa geologiczna rejonu osuwiska (wg Sikora 1967, 1970, Kopciowski *et al.* 1997): 1 – piaskowce magurskie, 2 – piaskowce i łupki warstw inoceramowych, 3 – piaskowce gruboławicowe (z Mutnego), 4 – łupki pstre, 5 – piaskowce gruboławicowe i łupki (ciężkowickie), 6 – piaskowce i łupki okna Szklarek, 7 – utwory rzeczne doliny Ropy, 8 – osuwisko, 9 – strefa uskokowa

Fig. 1. Geology of landslide region (after Sikora 1967, 1970, Kopciowski *et al.* 1997): 1 – Magura sandstones, 2 – sandstones and shales of Inoceranian Beds, 3 – thick-bedded sandstones (Mutne sandstones), 4 – variegated shales, 5 – thick-bedded sandstones and shales (Ciężkowice sandstones), 6 – sandstones and shales of Szklarka tectonic window, 7 – river deposits of Ropa valley, 8 – landslide, 9 – fault zone

Osuwisko Sawickiego (nazwa od pierwszego badacza jego rozwoju w 1913 r.) należy do dużych detruzywnych osuwisk typu złożonego. Położone jest na południowych stokach Maślanej Góry, w granicach wysokościowych 725 do 340 m n.p.m. ma około 2840 m długości i średnią szerokość ponad 500 m (Fig. 2). Przy położeniu powierzchni poślizgu na głębokości ponad 20 m p.p.t. objętość przemieszczonego materiału przekracza 25 mln m³.



Fig. 2. Szkic osuwiska Sawickiego wraz z położeniem przekrojów obliczeniowych: 1 – zasięg starej (holoceńskiej) formy osuwiskowej, 2 – linie przekrojów obliczeniowych, 3 – zachowane nisze osuwiska, 4 – koluwia osuwiska odnowionego w 1913 r.

Fig. 2. Schematic plan of Sawicki landslide with location of cross-sections numerically analysed: 1 – range of old (Holocene) landslide form, 2 – cross-sections for numerical analysis, 3 – existing landslide niches, 4 – colluvium of the landslide created in 1913

Osuwisko odnowione zostało w 1784 roku oraz całkowicie przebudowane w roku 1913, kiedy zniszczyło dziewięć zagród chłopskich oraz ponad 8 ha lasu (Sawicki 1917). Ruchy masowe zachodziły na osuwisku również w latach 1906, 1934, 1955, 1973–1974, 1980, 1983–1985, 1998 i 2001. Nie obejmowały one całego obszaru osuwiska, lecz koncentrowały się w strefach o większym nachyleniu (Krapiec & Rączkowski 2005). Jak wskazują badania Gila (1997) oraz Gila & Długosza (2006), były to lata szczególnie wilgotne na tym obszarze Karpat.

METODA ANALIZY I MODEL NUMERYCZNY ZBOCZA

Symulację przeprowadzono przy zastosowaniu programu komputerowego FLAC 4.0 (Itasca 2000) w płaskim stanie odkształcenia. Program oparty jest na algorytmie metody różnic skończonych, bazującej na prawach mechaniki ośrodków ciągłych. Analizowany obszar dzieli się na strefy różnic skończonych i w każdej z nich obliczany jest stan naprężenia, zaś w węzłach siatki różnic skończonych – przemieszczenie. Lokalizowane są również strefy zniszczone (uplastycznione), przebieg powierzchni zsuwu itp.

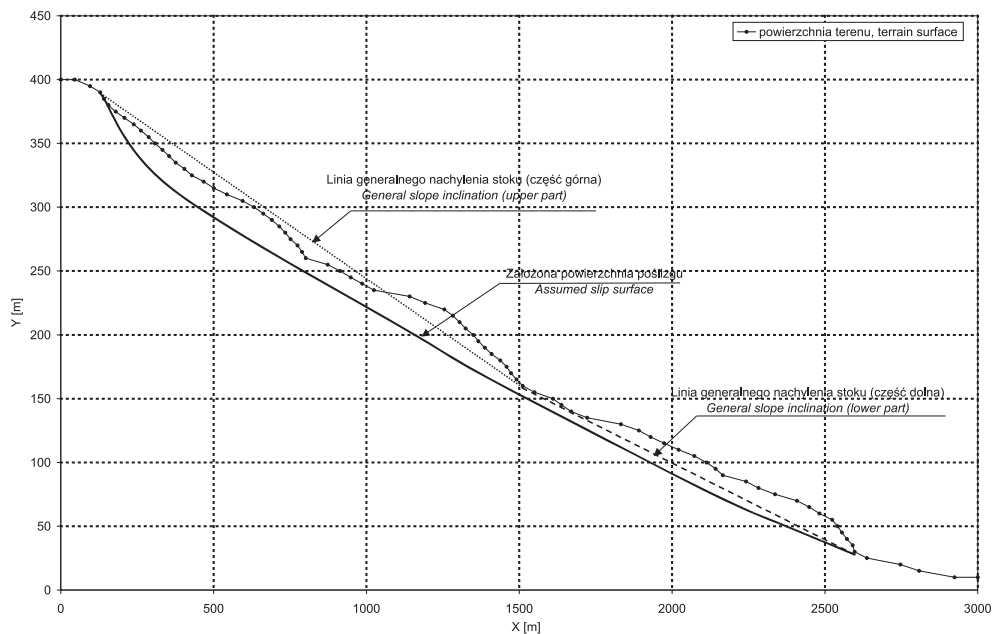


Fig. 3. Przekrój P1

Fig. 3. Cross-section P1

Symulację wykonano dla przekroju P1 (Fig. 3). Dane dotyczące właściwości mechanicznych masywu skalno-gruntowego przyjęto częściowo z literatury (Zabuski *et al.* 1999), głównie jednak uzyskano je z badań skał i gruntów budujących zbocza w pobliskich rejonach (Zabuski *et al.* 2003).

Wklęsły profil zbocza w górnej części wskazuje na zaawansowane procesy osuwiskowe w przeszłości. W efekcie masy osunięte z tego obszaru utworzyły wypukłości („nabrzmienia”) w części dolnej; dlatego nachylenie tej części jest mniejsze. Fakty te uwzględniono w modelu obliczeniowym, różnicując parametry masywu w obydwu częściach. Założono także zmienność właściwości geomechanicznych w profilu pionowym. Wynikowy model „warstw” (stref podziału) przedstawiono na figurze 4, zaś ich parametry zestawiono w tabeli 1. Wartości w tabeli można określić jako „końcowe” – wynikające z testowania szeregu modeli metodą prób i błędów przy różnych wartościach „próbnych”.

W obliczeniach uwzględniono trzy warianty położenia zwierciadła wody podziemnej (ZWP): zbocze suche, zwierciadło wody podziemnej 5 m p.p.t. oraz na poziomie powierzchni terenu.

Tabela (Table) 1

Parametry warstw w numerycznym modelu zbocza
Parameters of layers in numerical model of the slope

Warstwa (strefa) <i>Layer</i> (zone)	Gęstość <i>Density</i> ρ [t/m ³]	Moduł sprężystości postaciowej <i>Modulus</i> <i>of shear</i> <i>deformation</i> G [kPa]	Moduł sprężystości objętościowej <i>Bulk modulus</i> K [kPa]	Spójność <i>Cohesion</i> c [kPa]	Kąt tarcia <i>Angle of</i> <i>friction</i> ϕ [°]	Kąt dylatacji <i>Dilatation</i> <i>angle</i> ψ [°]	Wytrż. na rozciąganie <i>Tension</i> <i>strength</i> R_t [kPa]
Podłoże <i>Bedrock</i>	2.00	1.85E+4	5.55E+4	100	35	8.5	50
Koluwium część górna <i>Colluvium</i> <i>upper part</i>	1.95	3.70E+3	1.10E+4	18.2	16.2	4.0	0
Koluwium część dolna <i>Colluvium</i> <i>lower part</i>	1.95	3.70E+3	1.10E+4	15.6	17.6	4.5	0
Nadkład część górna <i>Overburden</i> <i>upper part</i>	1.90	3.70E+3	1.10E+4	13.1	13.1	3.2	0
Nadkład Część dolna <i>Overburden</i> <i>lower part</i>	1.90	3.70E+3	1.10E+4	11.6	12.2	3.0	0

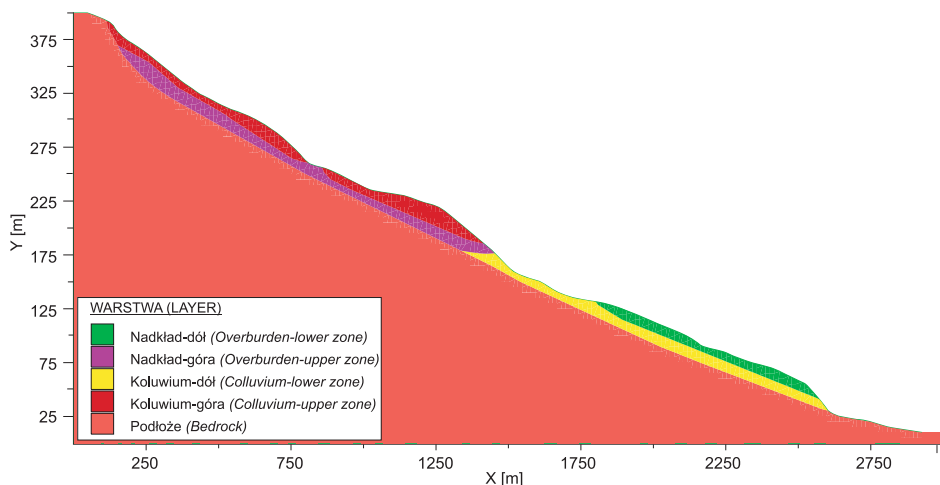


Fig. 4. Podział modelu numerycznego na warstwy (strefy) geotechniczne

Fig. 4. Division of the numerical model into the geotechnical layers (zones)

WYNIKI OBLICZEŃ – PRZEDSTAWIENIE I ANALIZA

W stanie suchym zbocze jest stateczne, jedynie w rejonie niszy osuwiskowej widoczne są kilkucentymetrowe przemieszczenia. Występują one głównie w nadkładzie oraz w mniejszym stopniu w koluwium. Fakt że koncentracja przemieszczenia pojawia się jedynie w niszy, nie oznacza, że inne strefy nie ulegają deformacjom. Położenie zwierciadła wód podziemnych na głębokości 5 m p.p.t. powoduje wzrost przemieszczenia; w tym przypadku jego wielkość dochodzi maksymalnie do ok. 40 cm. Strefy koncentracji pojawiają się również w środkowej partii zbocza. Strefy te nie łączą się w jeden większy zsuw, lecz objawiają się jako oddzielne, stosunkowo rozległe zsuwy, których długość wynosi nawet kilkaset metrów. Podniesienie zwierciadła ZWP do poziomu powierzchni terenu powoduje znaczny przyrost przemieszczenia w górnej części zbocza oraz jego koncentrację (wartości > 1.0 m) w partii środkowej (Fig. 5). Maksymalne przemieszczenie poziome rejestruje się poniżej niszy osuwiska, a także przy współrzędnej X równej ok. 700 m oraz 1300 m. Sytuację tę traktuje się jako równoznaczną ze stanem zniszczenia dużych partii zbocza. Dodatkowo świadczy o tym powolna zbieżność procesu iteracyjnego i fakt, iż nawet bardzo niewielkie obniżenie wartości parametrów wytrzymałości (równe np. 1–2%) wywołuje dalszą intensywną propagację procesu deformacji.

Strefa przypowierzchniowa zbocza ulega przemieszczeniu poziomemu, które może objawiać się zróżnicowanym odchyleniem od pionu obiektów znajdujących się na powierzchni terenu, zagłębionych w grunt. Mogą to być na przykład drzewa, które swymi korzeniami sięgają w głąb masywu. Na figurze 6 przedstawiono przykładowe krzywe przemieszczenia poziomego wybranych punktów. Przy odchyleniu odpowiadającym krzywej o współrzędnej $X = 270$ m obiekt będzie ulegać odchyleniu od pionu w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Objaw ten może być interpretowany jako skutek ruchu rotacyjnego.

Przeciwnie, w przypadku krzywej przy $X = 375$ m obiekt odchyła się zgodnie z ruchem wskazówek zegara i taki ruch może oznaczać zsuw translacyjny. W przekroju środkowym, przy $X = 314$ m, obiekt będzie się przesuwał, pozostając w pionie. Ruch ten jest również objawem zsuwu translacyjnego.

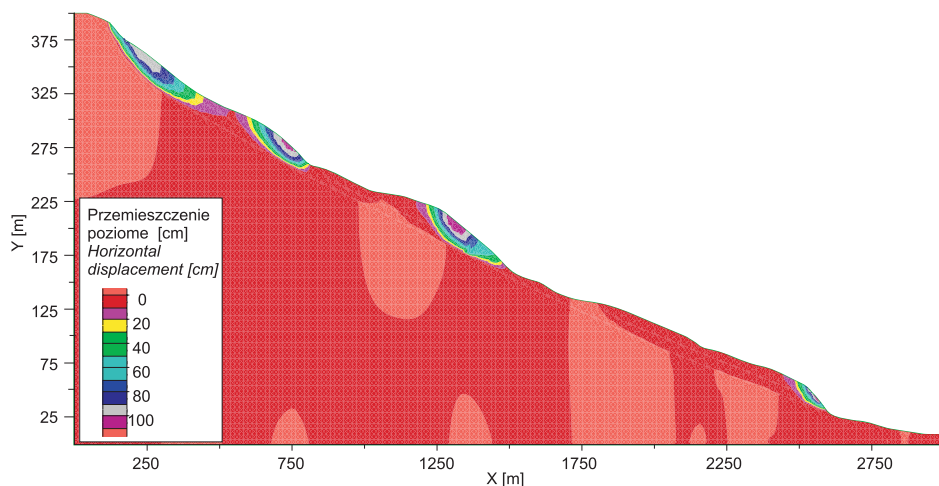


Fig. 5. Pole przemieszczenia poziomego w przekroju P1; ZWP na poziomie powierzchni terenu

Fig. 5. Field of horizontal displacement in P1 cross-section;
ground water level (GWL) = terrain surface

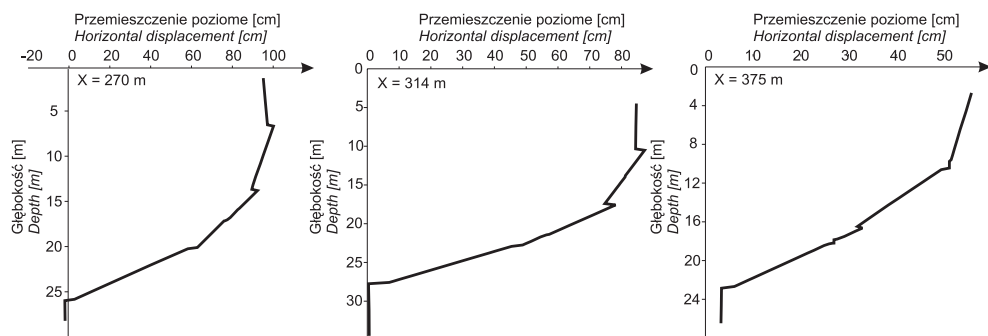


Fig. 6. Przykładowe krzywe przemieszczenia poziomego

Fig. 6. Examples of horizontal displacement curves

Wykonane analizy pozwoliły stwierdzić, że najczęstsze jest odchylenie obiektów zgodnie z ruchem wskazówek zegara, choć także pozostałe przypadki pojawiają się stosunkowo często. Można więc wnioskować, iż współczesne odchylenia obiektów stanowią raczej efekt ruchów lokalnych. Nie można natomiast wyciągać daleko idących wniosków o deformacjach w przeszłości.

PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Równoczesny zsuw całego zbocza po powierzchni poślizgu na głębokości kilkunastu lub więcej metrów jest mało prawdopodobny.
- Przy długotrwale panujących, ekstremalnie niekorzystnych warunkach atmosferycznych mogą pojawiać się zsuwy lokalne o długości dochodzącej do kilkudziesięciu, a nawet kilkuset metrów; wniosek ten znajduje potwierdzenie zarówno w obserwacjach procesów zachodzących w osuwisku w przeszłości, jak i w rezultatach wykonanych obliczeń.
- Pomimo wprowadzenia do modelu strefowych niejednorodności procesy deformacji są w decydującym stopniu zależne od topografii terenu, tj. od lokalnego nachylenia powierzchni; jest to szczególnie widoczne wówczas, gdy porówna się duże przemieszczenie górnej partii zbocza, gdzie nachylenie jest największe, ze stosunkowo małym przemieszczeniem łagodniej nachylonej partii dolnej.
- Brak ujęcia historycznego w analizie wynika z faktu, iż do dyspozycji był jedynie obecny kształt powierzchni terenu, brak natomiast informacji o kształcie oryginalnym (początkowym) i jego zmianach w przeszłości.
- Istotne wydają się wyniki symulacji pokazujące deformacje w strefie przypowierzchniowej, których konsekwencją są odchylenia od pionu obiektów znajdujących się na powierzchni – wyniki te można „ekstrapolować” na procesy zachodzące w przeszłości.

Mała ilość informacji umożliwiających modelowanie może być przyczyną rozbieżności, szczególnie ilościowych, pomiędzy rezultatami obliczeń a rzeczywistością. Można jednak sądzić, że nie są one znaczące i obraz uzyskany w wyniku analizy numerycznej pozwala na wzbogacenie rezultatów rozpoznania oraz innych obserwacji.

LITERATURA

- Bober L. & Oszczytko N., 1973. On geological conditions of structural landslides occurrences in the Polish Flysch Carpathians. *Proceedings of the Xth Congress CBGA*, Sect. 3, *Tectonics*, 38–45.
- Dauksza L. & Kotarba A., 1973. An Analysis of the Influence of Fluvial Erosion in the Development of Landslides Slope. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 7.
- Gil E., 1997. Meteorological and hydrological conditions of landslides, Polish Flysch Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 31, 143–158.
- Gil E. & Bochenek W., 1998. Raport stacji bazowej zintegrowanego monitoringu środowiska przyrodniczego IG i PZ PAN w Symbarku za lata hydrogeologiczne 1994–1997. W: Kostrzewski A. (red.), *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Stan geosyntetyków w latach 1994–1997*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 183–221.
- Gil E. & Długosz M., 2006. Threshold values of rainfalls triggering selected deep-seated landslide in the Polish Flysch Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 40, 21–43.

- Gil E., Gilot E., Kotarba A., Starkel L. & Szczepanek K., 1974. Wczesnoholoceńskie osuwisko w Szymbarku i jego znaczenie dla rekonstrukcji paleogeograficznych. *Sprawozdanie z Posiedzenia Komisji Nauk PAN Oddział w Krakowie*, 17/1, 1–6.
- Gil E. & Kotarba A., 1979. Model dynamicznego stoku osuwiskowego w obszarze fliszowym (przykład z polskich Karpat). *Zeszyty Probl. Postępów Nauk Rolniczych*, 222.
- ITASCA C.G., 2000. *FLAC 4.0 User's Manual*. Minneapolis
- Kopciowski R., Zimnal Z., Chrzastowski J., Jankowski L. & Szymakowska F., 1997. *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusz Gorlice (1037)*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Krapiec M. & Rączkowski W., 2005. Dendrogeomorfologiczny monitoring ruchów osuwiskowych na obszarze Beskidu Niskiego. W: Kotarba A., Krzemień K. & Święchowicz J. (red.), *Współczesna ewolucja rzeźby Polski, VII Zjazd Geomorfologów Polskich*, Kraków, 231–240.
- Sawicki L., 1917. Osuwiska ziemne w Szymbarku i inne zsuwy powstałe w roku 1913 w Galicji zachodniej. *Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego PAU*, 3, 13, 227–313.
- Sikora W., 1967. *Szczegółowa mapa geologiczna Polski, wydanie tymczasowe. Arkusz M 34–91 A Gorlice*. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Sikora W., 1970. Budowa geologiczna płaszczowiny magurskiej między Szymbarkiem Ruśkim a Nawojową. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 235, 13, 5–121.
- Świdziński H., 1946. Gazy ziemne w Bieśniku koło Gorlic. *Nafta*, 5, 158–163.
- Wójcik A., Mrozek T. & Granoszewski W., 2006. Lithological conditioning of landslides and climatic changes with example from Beskidy Mts., Western Carpathians, Poland. *Geografia Fisica Dinamika Quaternaria*, 29, 197–209.
- Zabuski L., Thiel K. & Bober L., 1999. *Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia, modelowanie, obliczenia stateczności*. Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk, 1–171.
- Zabuski L., Gil E., Rączkowski W. & Wójcik A., 2003. *Badania reprezentatywnego procesu osuwiskowego w masywie fliszu karpackiego – osuwisko eksperymentalne w Beskidzie Niskim*. Raport końcowy z realizacji projektu badawczego KBN nr 8 T12B 047 20, Gdańsk – Szymbark – Kraków.

Summary

The paper presents the results of numerical simulation of landslide process in Maślana Góra in Szymbark (Carpathians), presented in figure 1. It is called Sawicki landslide. The landslide is classified as complex. Its length is equal to 2840 m and width above 500 m (Fig. 2). The depth of the slip surface reaches more than 20 m, and volume of the sliding mass is equal to ca. 25 mln m³. Slope rock/soil mass in the selected, analysed cross-section (Fig. 3), mainly composed of weak and soft clay shales, was divided into geotechnical zones (Fig. 4) with different parameters (Tab. 1). The fields of stress and displacement were calculated in one selected cross-section, using computer code FLAC 2D, based on finite difference method. Horizontal displacement field in extremely unfavourable state of

the slope, i.e. when the level of ground water table agrees with the terrain surface, is shown in figure 5. The displacement in this figure proves that the probability of sliding movement of the whole slope in the same time is low. However, the zones having smaller extent can move gradually. Upper part of the slope moves mostly intensively. The displacement curves in the selected example points explain the nature of deformation processes during sliding (Fig. 6). The curves show that some parts of the slope can create rotational slides whereas translational movement can appear in other regions.