

GEOTECHNICZNE BADANIA POWIERZCHNIOWYCH RUCHÓW MASOWYCH NA PRZYKŁADZIE OSUWISKA W TARGANICACH

**Geotechnical investigations of shallow mass-movements
with Targanice landslide as example**

Tymoteusz ZYDRON¹ & Marcin NIEBYLSKI²

*¹Uniwersytet Rolniczy, Zakład Mechaniki Gruntów i Budownictwa Ziarnego;
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków;*

e-mail: tzydron@ar.krakow.pl

*²Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach,
Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie; Stacja Badawcza w Jaworkach;
Jaworki 17, 34-460 Szczawnica;*

e-mail: marcin.niebylski@gmail.com

Treść: W pracy przedstawiono wyniki badań płytkiego osuwiska powstałego na skutek nawalnego deszczu w sierpniu 2005 roku na jednym ze stoków Beskidu Małego, w miejscowości Targanice k. Andrychowa. Celem pracy było rozpoznanie mechanizmu powstania osuwiska oraz ocena warunków stateczności zbocza na podstawie znajomości właściwości geotechnicznych gruntów. Wykonano badania terenowe i laboratoryjne oraz przeprowadzono obliczenia stateczności zbocza. W ramach badań terenowych przeprowadzono obmiar geodezyjny terenu, wykonano wkopy badawcze, z których pobrano próbki do analiz laboratoryjnych. Podczas prac laboratoryjnych określono podstawowe właściwości geotechniczne gruntów pochodzących z kolumwium i stabilnego podłoża, przy czym szczególny nacisk położono na oznaczenie wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie. Ponadto wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie zostały oszacowane metodą analizy wstecznej. Na podstawie otrzymanych parametrów wytrzymałościowych wykonano obliczenia stateczności.

Słowa kluczowe: osuwisko, Beskid Mały, wytrzymałość na ścinanie

Abstract: The paper presents results of tests of shallow landslide which was caused by the extreme rainfall in August of 2005 on the slope of Beskid Mały, in Targanice near Andrychów. The identification of sliding mechanism and slope stability estimation on the basis of geotechnical parameters of soils were the aim of the research. In the frame of site investigation, land levelling measurements were carried out and open pits were made from which soil samples to the laboratory tests were taken out. In the frame of laboratory works, the basic geotechnical parameters of soils from coluvium and stable part of slope were determined, but the main stress were put on determination of the shearing strength parameters. Moreover, shear strength parameters were calculated using back-analysis method. On the basis of shear strength parameters slope stability was calculated.

Key words: landslide, Beskid Mały, shear strength

WSTĘP

Powierzchniowe ruchy masowe są jednym z najbardziej rozpowszechnionych katastrofalnych zjawisk w przyrodzie, które powodują duże straty w infrastrukturze naziemnej (Oszczytko *et al.* 2002, Poprawa & Rączkowski 2003), a w skrajnych przypadkach ofiary w ludziach (Panizzo *et al.* 2005). W naszym kraju 95% zarejestrowanych do tej pory osuwisk koncentruje się na obszarze Karpat (Poprawa & Rączkowski 2003), gdzie czynnikiem sprzyjającym tego typu zjawiskom jest budowa geologiczna fliszu i duże nachylenia stoków. Jednak zasadniczą przyczyną ruchów osuwiskowych jest naruszenie równowagi zbocza, które występuje najczęściej na skutek jego nawodnienia w czasie opadu deszczu lub wiosennych roztopów śniegu. Stąd też część badań ruchów osuwiskowych prowadzi się, analizując wpływ wielkości i częstotliwości opadów, wahań zwierciadła wody gruntowej na stopień aktywności zbocza (Gil 1996, Aleotti 2004, Hong *et al.* 2005, Giannecchini 2006, Gil & Długosz 2006). Jednak jednym z czynników decydujących o podatności zboczy na ruchy osuwiskowe jest jego litologia, w związku z tym istotna wydaje się potrzeba określenia parametrów geotechnicznych gruntów w obszarze naruszonego zbocza, w tym szczególnie ważna jest znajomość parametrów wytrzymałości na ścinanie, które są pomocne przy ocenie i prognozowaniu procesów osuwiskowych. Przedmiotem pracy były badania geotechniczne gruntów obszaru wybranego osuwiska oraz ocena warunków jego stateczności.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań zlokalizowany był w rejonie Beskidu Małego w miejscowości Targanice położonej około 3 km na południe od Andrychowa. Rozpatrywane osuwisko znajdowało się obrębem posesji przy ulicy Brzezińskiej 29.

Rejon badań stanowi fragment doliny o nachyleniu 15–26°, którą przecina jeden z dopływów górskiego potoku Targaniczanka. Zasadnicze pokrycie fragmentu stoku, na którym wystąpiły ruchy masowe, stanowi łąka, a powyżej występuje las (Fig. 1).

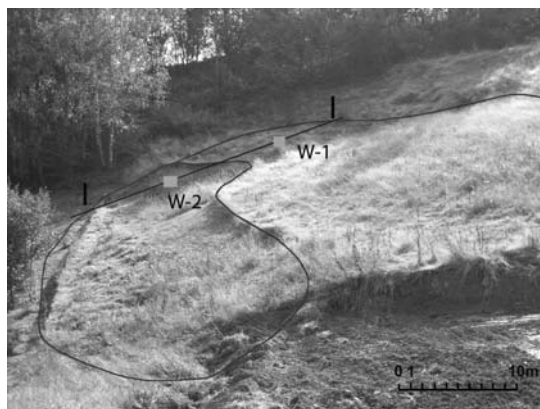


Fig. 1. Ogólny widok osuwiska: przekrój pomiarowy I–I, wkopy badawcze W-1, W-2

Fig. 1. General view of landslide: cross-section I–I, open pits W-1, W-2

Badane osuwisko zalicza się do osuwisk płytkich o następujących wymiarach: długość ok. 25 m, szerokość 31–32 m, wysokość 8 m, oraz o średnim nachyleniu 18° . Przyczyną powstania ruchów zbocza był krótkotrwały nawalny deszcz w sierpniu 2005 roku. Osuwisko ma słabo wykształcone formy morfologiczne. W górnej i środkowej jego części zaznaczają się dwie strefy oderwania (szczeliny z rozciągania), które świadczą o złożonej formie powstania osuwiska. Dolna część osuwiska została zabezpieczona przez właściciela terenu za pomocą palisady utworzonej z drewnianych palików o długości około 0.5 m. Boczne granice osuwiska są słabo zaznaczone w środkowej i dolnej części, ponieważ teren został wyrównany przez właściciela pobliskiej posesji. W pobliżu tej części osuwiska stwierdzono też nieznaczny wpływ wód gruntowych, niemniej samo zbocze nie było podmokłe.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem pracy było rozpoznanie mechanizmu powstania osuwiska oraz ocena warunków stateczności zbocza na podstawie znajomości właściwości geotechnicznych gruntów.

W tym celu wykonano badania terenowe i laboratoryjne oraz obliczenia stateczności zbocza. W ramach prac terenowych przeprowadzono obmiar geodezyjny osuwiska oraz wytyczono profil podłużny, wzdłuż którego wykonano dwa wkopy badawcze, z których pobrano próbki gruntów do oznaczania ich właściwości fizycznych i mechanicznych. Szczególnie duży nacisk położono na oznaczenie parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie. Badania te wykonano w standardowym aparacie skrzynkowym o wymiarze boku skrzynki 120×120 mm z zastosowaniem ramek pośrednich o grubości strefy ścięcia 10 mm. Badania przeprowadzono na materiale pozbawionym ziaren grubszych od 10 mm. Przed ścieniem próbki poddawano konsolidacji przez minutę przy naprężeniach 12.5 kPa, 25 kPa, 37.5 kPa i 50 kPa, a następnie przy takim samym naprężeniu ścinano z prędkością 1,0 mm/min do uzyskania względnego odkształcenia próbki 16%. Każda próbka była ścinana czterokrotnie (z cofaniem skrzynki aparatu do pozycji początkowej po każdym ścieniu) w celu ustalenia maksymalnej i resztkowej wytrzymałości na ścinanie.

Badanie wykonano na próbkach o wilgotności naturalnej oraz o wilgotności zbliżonej do całkowitej (co miało na celu odwzorowanie warunków panujących w czasie nawalnego deszczu). W przypadku materiału o wilgotności zbliżonej do całkowitej przed przystąpieniem do badania uformowane próbki umieszczano na okres kilku dób w wodzie. Parametry wytrzymałościowe obliczano metodą najmniejszych kwadratów, a kryterium ścienia stanowiła maksymalna wartość wytrzymałości na ścinanie w zakresie względnego odkształcenia próbki 10% i 16%.

Dla założonej powierzchni poślizgu oszacowano graniczne wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie metodą analizy wstecznej, w celu porównania z wartościami uzyskanymi z badań laboratoryjnych oraz określenia głębokości położenia strefy ścięcia.

Ponadto na podstawie otrzymanych parametrów wytrzymałościowych przeprowadzono obliczenia stateczności zbocza metodami Masłowa–Berera oraz Janbu dla założonych mechanizmów inicjacji wtórnych ruchów osuwiska (zsuw progresywny, retrogresywny).

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na podstawie badań we wkopach badawczych (Fig. 1, 2) wykonanych wzdłuż naruszonego zbocza wydzielono w profilu litologicznym dwie zasadnicze warstwy różniące się wyraźnie gęstością objętościową oraz wilgotnością naturalną. Podstawowe właściwości fizyczne gruntów z wyróżnionych warstw zestawiono w tabeli 1. Zasadniczy materiał zbocza stanowiły zwietrzałe utwory piaskowca i łupka. Należy zwrócić uwagę, że grunty przypowierzchnicznych warstw w obu wkopach miały wyraźnie mniejsze wartości gęstości objętościowej i wyraźnie większe wartości wilgotności w stosunku do odpowiednich wartości tych parametrów uzyskanych dla gruntów głębiej położonych. Pod względem geotechnicznym (PN-86/B-02480) grunty przypowierzchniowej warstwy stanowiły pospółki gliniaste, natomiast głębiej występowały żwiry gliniaste.

Tabela (Table) 1

Zestawienie wartości parametrów fizycznych gruntów

Tabulation of physical parameters of soils

Parametr / <i>Parameter</i>	Wkop nr 1 / <i>Open pit 1</i>	Wkop nr 2 / <i>Open pit 2</i>		
	Głębokość / <i>Depth</i> [m]			
	0.20–0.50	1.90–1.05	0.25–0.45	0.90–1.25
Zawartość frakcji / <i>Fraction content</i> [%]:				
– kamienista / <i>cobbles</i> (>40 mm)	0.0	0.0	0.0	8.7
– żwirowa / <i>gravel</i> (40–2 mm)	40.5	50.2	24.0	49.0
– piaskowa / <i>sand</i> (2–0.05 mm)	14.3	15.7	12.9	17.6
– pyłowa / <i>silt</i> (0.05–0.002 mm)	33.1	25.3	48.0	20.7
– ilowa / <i>clay</i> (<0.002 mm)	12.1	8.8	15.1	4.0
Rodzaj gruntu wg PN-86/B-02480 / <i>Soil type</i>	Pog*	Żg*	Pog*	Żg*
Wilgotność naturalna / <i>natural moisture content</i> [%]	19.4	13.9	19.4	14.6
Wilgotność całkowita / <i>moisture content at full saturation</i> [%]	25.2	18.3	29.4	17.0
Gęstość objętościowa / <i>bulk density</i> [Mg/m ³]	1.91	2.06	1.79	2.12
Gęstość właściwa / <i>density</i> [Mg/m ³]	2.68	–	2.68	2.70
Granice konsystencji** / <i>Atterberg's limits</i> [%]:				
– plastyczności / <i>plastic limit</i>	21.5	17.3	20.7	16.5
– płynności / <i>liquid limit</i>	36.2	27.1	32.6	26.4
Wskaźnik plastyczności / <i>plasticity index</i> [%]	14.7	9.8	11.9	9.9

* pospółka gliniasta/żwir gliniasty / *silty/clayey gravel according to USCS*,

** dla frakcji < 2 mm / *for particles smaller than 2 mm*.

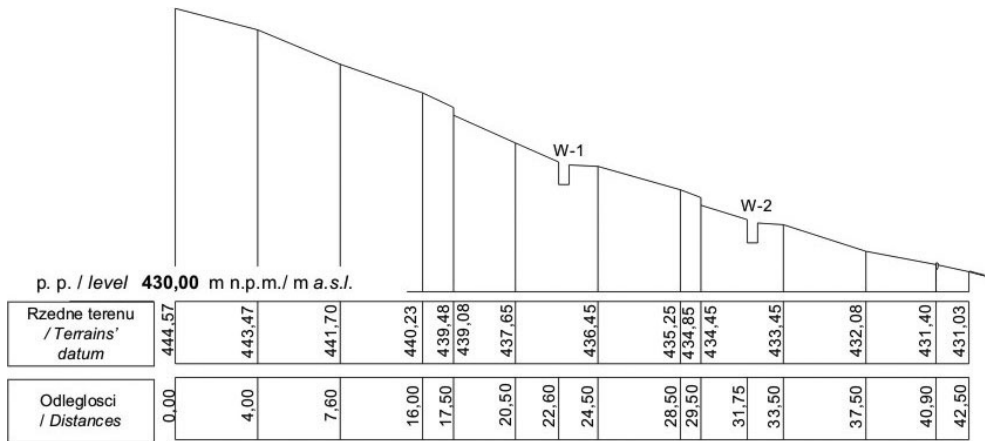


Fig. 2. Przekrój badawczy przez osuwisko: W-1, W-2 – wykopy badawcze

Fig. 2. Transverse section along landslide: W-1, W-2 – open pits

Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie (Tab. 2) wykazały wpływ wilgotności gruntu, jego pochodzenia (głębokości położenia warstwy) oraz kryterium ścinania (wielkości odkształcenia) na wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności.

Tabela (Table) 2

Zestawienie wartości parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie

Tabulation of shear strength parameters

Wilgotność próbek Moisture content of samples	Numer wkopu Number of open pit	Głębokość Depth	Kryterium ścinania – odkształcenie względne próby Shearing criterion – relative strain			
			10%		16%	
			Parametry maksymalne (resztkowe) Maximum parameters (residual)			
			Kąt tarcia wewnętrznego Angle of internal friction	Spójność Cohesion	Kąt tarcia wewnętrznego Angle of internal friction	Spójność Cohesion
[%]		[m p.p.t.]	[°]	[kPa]	[°]	[kPa]
w_n^*	1	0.20–0.50	48.3 (40.4)	14.2 (8.0)	49.8 (49.1)	12.9 (7.5)
		0.90–1.05	42.8 (42.4)	41.5 (11.3)	42.8 (44.2)	41.5 (15)
	2	0.42–0.45	38.2 (34.6)	18.5 (8.3)	47.3 (51.7)	15.5 (5.3)
		0.90–1.25	43.2 (45.7)	35.7 (5.2)	43.2 (51.9)	35.7 (5.1)
w_{sr}^{**}	1	0.20–0.50	15.5	2.8	22.9	2.3
		0.90–1.05	31.3	3.4	36.1	4.2
	2	0.42–0.45	14.7	0.6	18.7	1.4
		0.90–1.25	29.9	20.8	36.1	18.7

* w_n – wilgotność naturalna / natural moisture content,

** w_{sr} – wilgotność całkowita / saturation moisture content.

Zarówno wartości kąta tarcia wewnętrznego, jak i spójności uzyskane dla prób ścinanych przy wilgotności naturalnej były wyraźnie większe od wartości tych parametrów otrzymanych dla odpowiednich próbek ścinanych przy wilgotności zbliżonej do całkowitej.

Z kolei porównując wartości parametrów uzyskanych dla próbek pochodzących z różnych głębokości, można zauważyć, że grunty z głębszych warstw zbcza cechują się większą wytrzymałością na ścinanie. Przy wilgotności naturalnej wartości kąta tarcia wewnętrznego gruntów z obu warstw są zbliżone, ale większe wartości spójności uzyskano w przypadku gruntów z głębszej warstwy. Z kolei wyniki badań próbek o wilgotności zbliżonej do całkowitej wykazały, że wartości spójności większości gruntów (poza próbką z wkopu nr 2 i głębokości 0.90–1.25 m) są zbliżone, natomiast znacznie większe wartości kąta tarcia wewnętrznego uzyskano w przypadku gruntów z większej głębokości. Takie zróżnicowanie wartości parametrów wytrzymałości wynika z różnego zagęszczenia oraz wilgotności gruntów i może świadczyć o tym, że grunt z wierzchniej warstwy zbcza podlegał przemieszczeniu w trakcie zsuwu, wskutek czego uległ rozluźnieniu, co spowodowało obniżenie wartości jego parametrów wytrzymałościowych.

Wielkość odkształcenia podczas ścinania próbek w przypadku gruntów o wilgotności naturalnej nie miała większego wpływu na wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie. Z kolei w przypadku próbek o dużej wilgotności ($w \cong w_{sr}$) większe odkształcenie próbek prowadziło do uzyskiwania wyraźnie większych wartości kąta tarcia wewnętrznego, a w mniejszym stopniu wpływało na zmianę wartości kohezji.

Uzyskane z badań wartości parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie odpowiadają warunkom panującym w naruszonym zboczu, natomiast wartości parametrów wytrzymałościowych gruntów w momencie utraty stateczności zbcza są nieznanne. Dlatego też w celu określenia warunków równowagi zbcza w okresie przed powstaniem osuwiska posłużono się metodą analizy wstecznej, zakładając, że wartość współczynnika stateczności w momencie utraty stateczności zbcza wynosiła 1.00.

Obliczenia przeprowadzono, korzystając ze wzoru na współczynnik stateczności nasyconego zbcza o nieskończonej długości, gdzie przepływ wody występuje równoległe do jego powierzchni (Abramson *et al.* 2002)

$$F = \frac{c' + (\gamma_{sr} - \gamma_w) \cdot z_w \cdot \cos^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi'}{\gamma_{sr} \cdot z_w \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}$$

gdzie:

- c' – efektywna spójność,
- ϕ' – efektywny kąt tarcia wewnętrznego,
- α – kąt nachylenia zbcza,
- γ_{sr} – ciężar objętościowy gruntu przy pełnym wypełnieniu porów gruntowych wodą,
- γ_w – ciężar objętościowy wody,
- z_w – głębokość nasycenia gruntu wodą.

Do obliczeń założono: $\alpha = 18^\circ$, $\gamma_{sr} = 21 \text{ kN/m}^3$, $z_w = 0.5\text{--}1.25 \text{ m}$. Ponadto, przy założeniu, że w trakcie pełnego nawodnienia wartość spójności przyjmuje wartość $c = 0 \text{ kPa}$, określono, że zbocze jest stabilne przy wartości kąta tarcia wewnętrznego równej lub większej od 30.9° .

Porównując otrzymany wynik obliczeń z wartościami otrzymanymi z badań, można stwierdzić, że bezpieczne wartości kąta tarcia wewnętrznego mają grunty z głębszej warstwy zbrocza, a zatem stanowią one materiał stabilnej części zbrocza. Ponadto wyniki badań parametrów wytrzymałościowych wskazują, że grunty zalegające w przypowierzchniowej warstwie zbrocza mają bardziej niekorzystne wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie niż grunty z warstwy głębiej położonej ($0.9\text{--}1.25 \text{ m}$), dlatego można sądzić, że w ich obrębie mogą nastąpić wtórne ruchy osuwiska. Stąd też do dalszych obliczeń przyjęto, że strefa poślizgu położona jest około 0.5 m poniżej powierzchni terenu. Ponadto stwierdzono, że zaobserwowane cechy morfologiczne osuwiska wykluczają, iż powstało ono w wyniku ruchu rotacyjnego, więc do obliczeń stateczności zastosowano metody Masłowa–Berera oraz Janbu, które pozwalają wykonać obliczenia dla dowolnej powierzchni poślizgu.

Obliczenia stateczności wykonano dla dwóch przypadków:

- 1) stateczność zbrocza w warunkach gruntowych istniejących podczas badań; do obliczeń przyjęto resztkowe parametry wytrzymałości na ścinanie obliczone dla kryterium ścicia odpowiadającym odkształceniu próbki 10% ;
- 2) stateczność w najniekorzystniejszych warunkach atmosferycznych (wilgotność gruntu zbliżona do całkowitej); obliczenia wykonano, przyjmując parametry gruntu uzyskane dla kryterium ścicia odpowiadającego 10% -procentowemu odkształceniu próbek – zastosowano dwa warianty obliczeń – z uwzględnieniem i bez uwzględnienia ciśnienia sphywowego.

Ponieważ w środkowej części osuwiska przebiega strefa oderwania, która odziera górną i dolną część osuwiska, w obliczeniach założono trzy możliwe mechanizmy powstania osuwiska:

- 1) progresywny – ruchy osuwiska zostaną zapoczątkowe w górnej jego części,
- 2) retrogresywny – ponowne osuwanie naruszonego zbrocza zostanie zapoczątkowane w dolnej jego części,
- 3) ponowny ruch osuwiska nastąpi równocześnie na całej powierzchni osuwiska.

Obserwacje na obiekcie wskazały, że w momencie badań osuwisko nie wykazywało oznak aktywności. Wyniki obliczeń stateczności z uwzględnieniem parametrów wytrzymałościowych uzyskanych na próbkach o wilgotności mniejszej od całkowitej potwierdziły wyniki obserwacji. Niezależnie od metody obliczeniowej czy też założonego mechanizmu ruchów wtórnych należy stwierdzić, iż zbrocze jest stateczne.

Wyniki obliczeń w warunkach wysokiego uwilgotnienia zbrocza, ale bez uwzględnienia wpływu ciśnienia sphywowego, wskazują, że jest ono stateczne – wartości współczynników stateczności wynoszą $1.19\text{--}1.76$. Natomiast przy uwzględnieniu wpływu sił ciśnienia sphywowego okazuje się, że może nastąpić uaktywnienie osuwiska, przy czym największe zagrożenie osunięciem występuje w dolnej części zbrocza, gdzie uzyskano najmniejszą wartość współczynnika stateczności, co wskazuje na możliwość powstania zsuwu progresywnego (Tab. 3).

Tabela (Table) 3

Wyniki obliczeń stateczności zbocza
Results of slope stability calculations

Mechanizm powstania osuwiska <i>Failure mechanism*</i>	Ciśnienie sphywowe <i>Seepage forces</i>	Współczynnik stateczności wg metody <i>Factor of stability according to</i>	
		Masłowa–Berera <i>Maslow–Berer's method</i>	Janbu <i>Janbu's method</i>
wilgotność gruntów / <i>moisture content</i> $w < w_{sr}^{**}$			
1	–	3.96	6.07
2	–	5.37	8.51
3	–	4.16	6.23
wilgotność gruntów / <i>moisture content</i> $w \cong w_{sr}^{**}$			
1	–	1.76	2.01
	+	1.20	1.24
2	–	1.30	1.32
	+	0.87	0.88
3	–	1.44	1.57
	+	0.98	1.00

* 1 – ruch progresywny / *progressive movement*, 2 – ruch retrogresywny / *retrogressive movement*, 3 – ruch całości osuwiska / *movement of the whole landslide*,

** w_{sr} – wilgotność całkowita / *saturation moisture content*.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie wykonanych obserwacji w terenie, analizując wyniki badań terenowych i laboratoryjnych, stwierdzono, że osuwisko można określić jako formę złożoną o cechach zarówno sphywu, jak i ruchu translacyjnego. Stosunek maksymalnej miąższości do maksymalnej długości osuwiska wynosi $0.5/25 = 2\%$, co wskazuje na sphyw (Zabuski *et al.* 1999). Za tego typu ruchem przemawia również brak wykształconej powierzchni poślizgu (Gorczyca 2004), a także nachylenie i kształt zbocza (Abramson *et al.* 2002). Z kolei o ruchu translacyjnym – blokowym może świadczyć fakt, że przemieszczenie materiału nastąpiło po bardziej zwężłej warstwie grubszego materiału, a w obrębie osuwiska występowały szczeliny powstałe na skutek rozciągań (Gorczyca 2004). Sądząc po budowie morfologicznej obszaru przemieszczonego zbocza i opierając się na zróżnicowanych wartościach parametrów wytrzymałościowych w profilach litologicznych oraz wykorzystując wyniki obliczeń z analizy wstecznej, można stwierdzić, że przemieszczenie mas ziemnych nastąpiło w przypowierzchniowej części zbocza. Mechanizm inicjujący ruch zbocza związany był z krótkotrwałymi, intensywnymi opadami deszczu, co jest typowe dla płytkich osuwisk (Aleotti 2004, Giannecchini 2006). W takich warunkach, w trakcie nawodnienia gruntu następuje zmniejszenie naprężeń efektywnych w potencjalnej strefie poślizgu, co powoduje

zmniejszenie wytrzymałości gruntu na ścinanie, a utrata stateczności następuje przy stałej wartości naprężeń całkowitych i zwiększającym się ciśnieniu porowym (Abramson *et al.* 2002). Dodatkowo zjawisku utraty stateczności zbrocza sprzyjają siły związane z filtracją wody (Wang *et al.* 2003).

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz ich analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

- Badane osuwisko jest efektem płytkich ruchów osuwiskowych, które swym zasięgiem objęły powierzchniowe warstwy gruntu. Analiza wsteczna oraz wyniki oznaczeń parametrów wytrzymałości na ścinanie pozwoliły ustalić miąższość przemieszczonego materiału zbrocza, która wyniosła 0.5–0.8 m.
- Obserwacje terenowe oraz obliczenia stateczności wykazały, że w warunkach wilgotności gruntów zbrocza mniejszej od wilgotności odpowiadającej pełnej saturacji zbrocza jest stateczne.
- Obliczenia stateczności gruntów zbrocza z uwzględnieniem wpływu ciśnienia sphywowego wskazują na możliwość powstania wtórnych ruchów osuwiskowych.
- Z uwagi na fakt, że głównym czynnikiem sprawczym ruchów osuwiska jest działanie wody, można wnosić, że najbardziej wskazaną metodą ochrony zbrocza przed dalszymi ruchami osuwiskowymi jest odpowiednie odwodnienie. Zaleca się również prowadzenie dalszych obserwacji osuwiska poprzez regularne pomiary jego przemieszczeń.

LITERATURA

- Aleotti P., 2004. A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, 73, 247–265.
- Abramson L.W., Lee T.S., Sharma S. & Boyce G.M., 2002. *Slope stability and stabilization methods*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1–712.
- Giannecchini R., 2006. Relationship between rainfall and shallow landslides in southern Apuan Alps (Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 357–364.
- Gil E., 1996. *Monitoring ruchów osuwiskowych. Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Monitoring geosystemów górskich*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 120–130.
- Gil E. & Długosz M., 2006. Threshold values of rainfalls triggering selected deep-seated landslides in the Polish Flysch Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, XL, 21–43.
- Gorczyca E., 2004. *Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny)*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 1–101.
- Hong Y., Hiura H., Shino K., Sassa K., Suemine A., Fukuoka H. & Wang G., 2005. The influence of intense rainfall on the activity of large-scale crystalline schist landslides in Shikoku Island, Japan. *Landslides*, 2, 97–105.

- Oszczypko N., Golonka J. & Zuchiewicz W., 2002. Osuwisko w Lachowicach (Beskidy Zachodnie): skutki powodzi z 2001 r. *Przegląd Geologiczny*, 50, 10/1, 893–898.
- Poprawa D. & Rączkowski W., 2003. Osuwiska Karpat. *Przegląd Geologiczny*, 51, 8, 685–692.
- Panizzo A., De Girolamo P., Di Risio M., Maistri A. & Petaccia A., 2005. Great landslide events in Italian artificial reservoirs. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 733–740.
- PN-86/B-02480. *Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów*. Polski Komitet Normalizacji, Miary i Jakości, Warszawa.
- Wang G., Sassa K. & Fukuoka H., 2003. Downslope volume enlargement of a debris slide-debris flow in the 1999 Hiroshima, Japan, rainstorm. *Engineering Geology*, 69, 309–330.
- Zabuski L., Thiel K. & Bober L., 1999. *Osuwiska we fliszu Karpat Polskich. Geologia – modelowanie – obliczenia stateczności*. Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk, 1–171.

Summary

The area of research was located in Targanice near Andrychów. Shallow landslide (Fig. 1) had dimensions: length 25 m, width 31–32 m, height 8 m and mean inclination 18°. The cause of slide was short-term intensive rainfall in August of 2005.

In the frame of site investigation, land levelling measurements (Fig. 2) were done and open pits were made from which soil samples to the laboratory tests were taken out. On the basis of the tests, there were distinguished two basic two layers, where soils properties were different. The values of physical parameters of soils taken to laboratory tests are presented in the table 1.

The shear strength parameters were obtained from direct shear tests in standard apparatus, where samples were repeatedly sheared to estimate residual parameters. The results are presented in the table 2. The essential factors which influence the values of angle of internal friction and cohesion was moisture content, depth of taken samples (connected with bulk density) and failure criterion (relative strain). Furthermore shear strength parameters were calculated using back-analysis, which revealed that lower soil layer has the values of shear parameters which guarantee its stability. It means that the upper soil layer was displaced during mass movements.

On the basis of shear strength parameters, slope stability calculations were made using Masłowski–Berer's and Janbu's methods (Tab. 3). The results of calculations revealed that when moisture content of soils is low the slope is stable. When moisture content of soils is very high, further mass movements are possible. The essential factor causing slope instability are seepage forces, therefore the main way of slope stabilization should be installing drainage system and also monitoring the landslide.