

PIERWSZY W POLSCE SYSTEM WCZESNEGO OSTRZEGANIA O ZAGROŻENIU OSUWISKOWYM W CZASIE RZECZYWISTYM NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH LOKALIZACJI W BESKIDZIE NISKIM

THE FIRST LANDSLIDE REAL-TIME EARLY WARNING SYSTEM IN POLAND ON THE EXAMPLE, OF SELECTED LOCATIONS IN BESKID NISKI MOUNTAINS

ZBIGNIEW BEDNARCZYK¹

Abstrakt. W artykule zaprezentowano nowoczesny system wczesnego ostrzegania i monitoringu osuwisk, zainstalowany w Beskidzie Niskim w województwie małopolskim. System jest pierwszym tego typu w Polsce i został zbudowany w ramach programu UE Innowacyjna Gospodarka. Cztery stacje pomiarowe znajdują się ponad drogą powiatową Szymbark–Bystra. Występuje tam sześć aktywnych osuwisk o głębokości 7–20 m. Osuwiska utworzyły się w miękkoplastycznych fliszowych gruntach ilastych z przewarstwieniami piaskowców. System integruje różnego rodzaju automatyczne urządzenia pomiarowe, w tym nowoczesne czujniki do pomiarów przemieszczeń wgłębnych w trzech płaszczyznach (3D). Zawiera dwa ciągłe systemy inklinometryczne 3D do głębokości 12 i 16 m oraz urządzenie do pomiarów przemieszczeń wgłębnych w otworze wiertniczym w standardowych rurach inklinometrycznych. Wpływ warunków hydrogeologicznych na aktywację osuwisk badany jest przez trzy automatyczne rejestratory ciśnienia porowego oraz głębokości zwierciadła wód gruntowych. Warunki meteorologiczne analizowane są poprzez automatyczną stację mierzącą wielkości opadów, ciśnienia atmosferycznego, temperatury i wilgotności powietrza. System został zainstalowany w okresie maj–czerwiec 2010 r. Dane zbierane są co godzinę i przesyłane przez sieć telefonii komórkowej do internetu (częstotliwość ta może być zmieniana). Zaplanowany, 3-letni okres monitoringu powinien umożliwić poznanie zależności pomiędzy czynnikami aktywującymi badane osuwiska, a także wczesne ostrzeganie o istniejących zagrożeniach dla drogi powiatowej i nowego mostu na rzece Bystrzance.

Słowa kluczowe: monitoring osuwisk, wczesne ostrzeganie, kontrola stabilizacji.

Abstract. New early-warning landslide monitoring system is presented in the paper. It was installed in Beskid Niski Mountains in Małopolska Province. The system is the first of this type in Poland and it was constructed within the EU Project “Innowacyjna Gospodarka”. Four field monitoring stations were located over Szymbark–Bystra public road. Six active landslides have been detected in this region. They have depth of 7–20 m and are founded in soft clayey soils interbedded by the sandstones. The system consists of different kinds of ground movements measuring devices including modern 3D inclinometers. It includes two continuous inclinometer systems down to the depths of 12 and 16 m. It also includes standard in-place inclinometer installed in a borehole. The influence of a groundwater conditions on mass movements activation is being investigated by the three fully automatic pore pressure and groundwater depth transducers. The weather conditions are being analyzed by automatic meteorological station which measures precipitation, air humidity, temperature and pressure values. The system was installed in May–June 2010. The field data are collected at each 1-hour interval and transferred by GSM network to the Internet. Three year period of monitoring has been planned and it includes early warning of potential threats for the public road as well as for the new bridge over Bystrzanka river.

Key words: landslide monitoring, early warning, stabilization control.

¹ Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor-Instytut, ul. Parkowa 25, 51-616 Wrocław;
zbigniew.bednarczyk@igo.wroc.pl

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH OSUWISK I STACJI POMIAROWYCH

System składa się z czterech połowych stacji pomiarowych, zasilanych przez ogniwa słoneczne. Zlokalizowane są one na czynnych osuwiskach ponad drogą powiatową Szymbark–Bystra, w rejonie Gorlic (fig. 1). Znajduje się tam zespół sześciu osuwisk o zróżnicowanej wielkości i zasięgu. Prace stabilizacyjne wykonane w 2009 r. obejmowały kotwienie frontu osuwisk do głębokości od 6–12 m oraz jego wzmocnienie siatką Geobrugg w rejonie drogi powiatowej. Wykonano także mury oporowe z gabionów wzdłuż rzeki Bystrzanki oraz system drenażu powierzchniowego i wgłębego. Ze względu na wielkość osuwisk zabezpieczono jedynie ich czołową część w rejonie drogi. Na obszarze osuwiskowym znajdują się zabudowania mieszkalne i gospodarskie, drogi dojazdowe, linia energetyczna, telefoniczna, instalacje wodociągowe i kanalizacyjne oraz gazociąg.

Osuwiska te były już wcześniej badane przez autora (Bednarczyk, 2008a, b, 2009a, b, 2010). W 2006 r. wykonano ich dokumentację geologiczno-inżynierską w ramach projektu SOPO, a w latach 2006–2011 monitoring 3 punktów pomiarów przemieszczeń wgłębnych do głębokości 7,5, 15,0 i 18,0 m oraz pomiary ciśnienia porowego i głębokości wód gruntowych. Badania wykazały, że pomimo prac stabilizujących część osuwisk nadal cechuje się występowaniem

aktywnych przemieszczeń. Prace stabilizacyjne wykonane w 2009 r. ograniczyły zagrożenia. Nie doprowadziły one jednak do całkowitego zaniku aktywności osuwisk.

Zagrożenia dla drogi powiatowej uwidoczniły się szczególnie w maju i czerwcu 2010 r. po rekordowych opadach atmosferycznych. W górnej części osuwisk doszło do gromadzenia się wód opadowych, których infiltracja w głąb koluwiów spowodowała aktywację procesów geodynamicznych. Powstały wtedy nowe zerwy i spękania osuwiskowe, zniszczona została część rowów odwadniających, a siatki zabezpieczające skarpy uległy naciągnięciu (fig. 2, 3). W obrębie koluwiów wielkość przemieszczeń wgłębnych zależała głównie od parametrów wytrzymałościowych gruntów je budujących, nachylenia stoku i warunków infiltracji powodujących uplastycznienie gruntów. Brak pełnej stabilizacji widoczny był szczególnie w obszarach zlokalizowanych w większej odległości od drogi powiatowej. Duże znaczenie dla stateczności rejonu miało także niezabezpieczenie fragmentu czołowej części osuwiska nr 1 Bystrzyca oraz rejonu nowego mostu na rzece Bystrzance.

Osuwiska nr 1, 5, 6, gdzie umiejscowione są stacje badawcze, zajmują powierzchnię od 3,7 do 6 ha, ich długość od 350 do ponad 500 m, a szerokość od 150 do 200 m. Zasięg strefy osuwiskowej wzdłuż drogi wynosi 800 m.

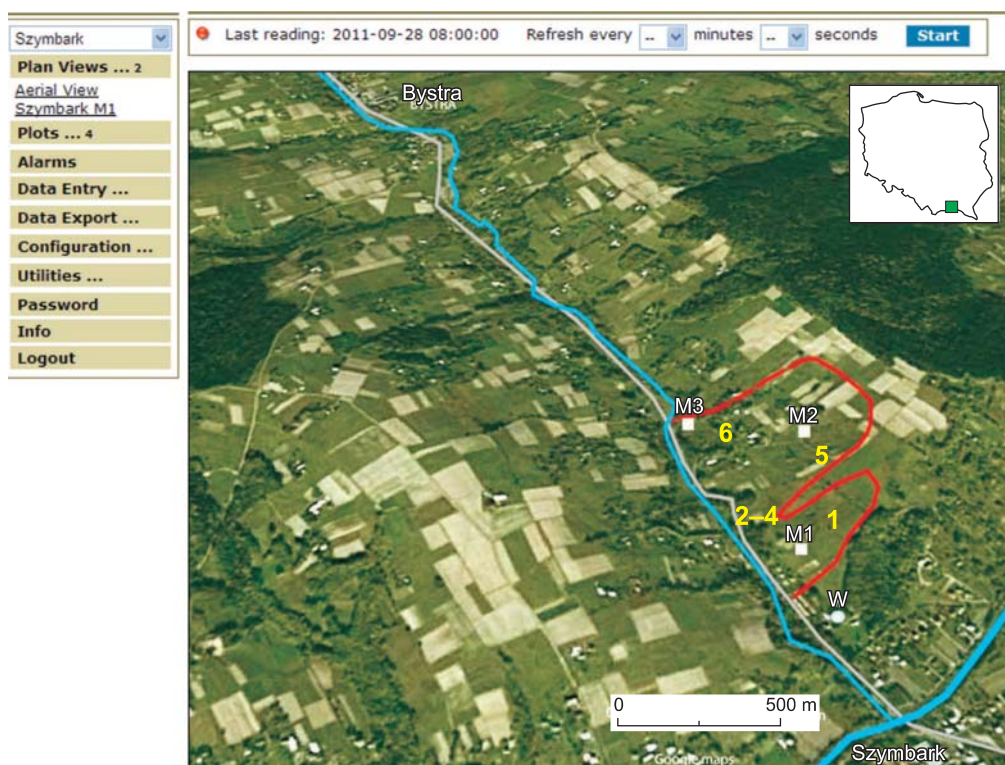


Fig. 1. Lokalizacja osuwisk (1–6), stacji pomiarowych (M1–M3) oraz stacji meteorologicznej (W); program rejestrujący i interpretujący dane pomiarowe

Localization of landslides (1–6), field stations (M1–M3) and meteorological station (W); data acquisition and interpretation software

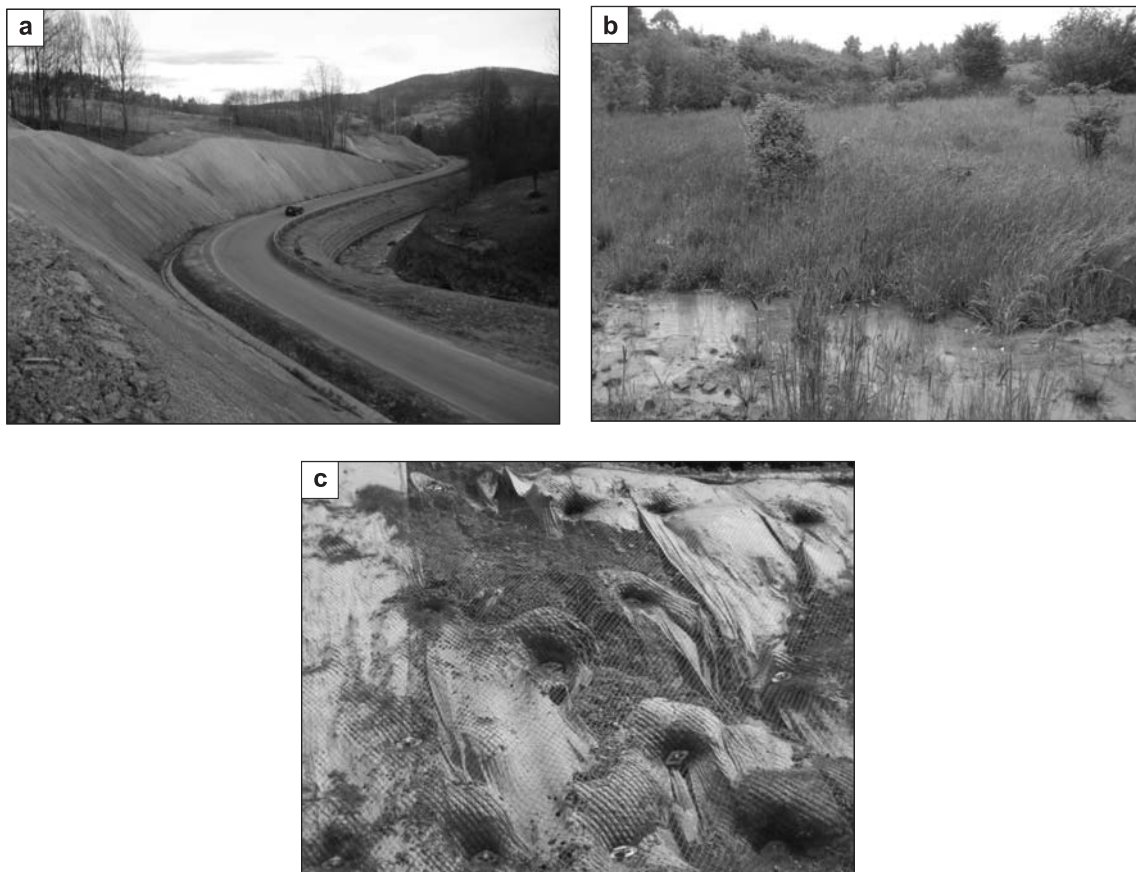


Fig. 2. a – Częściowo zabezpieczony fragment drogi powiatowej Szymbark–Szałowa (marzec 2010); b – Woda gromadząca się w górnej części osuwiska nr 1 Bystrzyca (maj 2010); c – Naciągnięcie siatek Geobrug na czole osuwiska nr 1 (maj 2010)

a – Partly stabilized part of the Szymbark–Szałowa public road (March 2010); b – Water in upper part of the landslide no. 1 Bystrzyca (May 2010); c – Tightening of Geobrug meshes at the head part of the landslide no. 1 (May 2010)



Fig. 3. Osuwisko nr 5 (maj 2010): a – zerwy osuwiskowe, b – zniszczone rowy odwadniające
Landslide no. 5 (May 2010): a – new cracks, b – damaged drainage system

Nowe stacje pomiarowe zostały rozlokowane ponad punktami standardowych pomiarów inklinometrycznych i piezometrycznych, zainstalowanych w dolnej części osuwisk w 2005 r.:

– stacja pomiarowa M1 – zlokalizowana w centralnej części osuwiska nr 1 Bystrzyca, w jego osi. Wysokość maksymalna osuwiska wynosi 370 m, minimalna 300 m, długość 344 m, szerokość 116 m, średnie nachylenie 9°, głębokość powierzchni poślizgu 6–11 m;

– stacja pomiarowa M2 – zlokalizowana w górnej części osuwiska nr 5, na granicy jego niszy i jezora osuwiskowego, w jego osi. Jest to bardzo duże osuwisko stokowe, wysokość

maksymalna dochodzi do 405 m, minimalna 310 m, długość 476 m, szerokość 180 m, średnie nachylenie 9–12°, głębokość powierzchni poślizgu 10–20 m;

– stacja pomiarowa M3 – zlokalizowana w zachodniej, dolnej części osuwiska nr 6, powyżej mostu na Bystrzance. Jest to duże czynne osuwisko zagrażające przyczółkowi nowego mostu, wysokość maksymalna wynosi 405 m, minimalna 315 m, w rejonie Bystrzanki płynącej u podnóża osuwiska długość 561 m, szerokość 147 m, średnie nachylenie 6–9°, głębokość powierzchni poślizgu 10–20 m;

– stacja meteorologiczna W – zlokalizowana przy bocznej, południowej krawędzi osuwiska nr 1.

INSTRUMENTACJA I BADANIA STOKÓW OSUWISKOWYCH

Ze względu na stopień skomplikowania budowy geologicznej, niejednorodną głębokość osuwisk oraz zmienne położenie przypuszczalnej powierzchni poślizgu głębokość otworów została tak zaplanowana, aby osiągnęły one podłoże aktywnych utworów koluwalnych. W celu wyboru miejsca instalacji wykonywano wcześniejsze pomiary w istniejącej sieci monitoringowej na osuwiskach 1–6 w Szymbarku, a także w rejonach rezerwowych zlokalizowanych w Suchej Beskidzkiej, Dukli i Sanoku (pomiarów od 2006 r.). Na podstawie przeprowadzonej analizy opracowano założenia do budowy systemu monitorowania i ostrzegania przed osuwiskami oraz opracowano projekt systemu. W pierwszym kwartale 2010 r. wykonano projekt prac geologicznych. Instalacja systemu zbiegła się czasowo z rekordowymi opadami atmosferycznymi, co poważnie utrudniało możliwość wjazdu na miejsce badań. Z tego względu sprzęt pomiarowy był instalowany i uruchamiany etapami od 24.05 do 18.06.2010. Instrumentacja wymagała 72 m wierceń rdzeniowych. W dwóch z planowanych otworów 2M i 3M zostały zainstalowane ciągle systemy inklinometryczne 3D – łącznie 54 segmenty pomiarowe do głębokości 16 i 12 m.

W otworze M1 o głębokości 14 m zainstalowano 3 czujniki jednoosiowe w rurach inklinometrycznych. Dodatkowo dwa czujniki ciśnienia porowego zlokalizowano w strefie powierzchni poślizgu, natomiast czujnik głębokości poziomu wód gruntowych w otworze piezometrycznym. Na osuwisku nr 1 zainstalowano automatyczną stację meteorologiczną (tab. 1). Prace wiertnicze zostały uzupełnione przez badania laboratoryjne: 12 polowych badań wytrzymałości na ścinanie, 10 testów podstawowych parametrów fizycznych gruntów, 2 badania wytrzymałości w aparacie bezpośredniego ścinania, 1 badanie edometryczne oraz 10 testów trójosiowych typu CIU i CID w wysokiej klasie aparacie trójosiowego ściskania (Wielka Brytania). Wykonane rozpoznanie wykazało, że w podłożu do głębokości 12–15 m występują utwory koluwalne, cechujące się niekorzystnymi parametrami wytrzymałościowymi oraz bardzo dużą wilgotnością naturalną 20–36%. Były to najczęściej bardzo nawodnione pospółki gliniaste o wysokim stopniu plastyczności (I_L 0,4–0,5), występujące na stromo nachylonych stokach. Wartości efektywnych parametrów wytrzymałościowych były zmienne, np. kąt tarcia wewnętrz-

Tabela 1

Zestawienie elementów zainstalowanego systemu

Elements of the installed monitoring system

Stacja pomiarowa	Rodzaj pomiaru	Głębokość otworu [m]	Głębokość instalacji [m]	Wysokość [m n.p.m.]	Numer osuwiska
M1	przemieszczenia wgłębne	14,0	7,0–10,0	328,00	Nr 1 Bystrzyca
M1/P1	ciśnienie porowe, temp. wód gruntowych	12,0	11,0	328,35	
M1/P2	poziom zw. wód gruntowych	12,0	10,0	328,46	
M2	przemieszczenia wgłębne	19,0	16,0	359,59	Nr 5
M3	przemieszczenia wgłębne	15,0	12,0	338,10	Nr 6
W	opady, ciśnienie atmosf., temp. powietrza	–	1,0 m ponad pow. terenu	320,00	stacja PAN w pobliżu południowej granicy osuw. nr 1

nego wynosił 6,5–20°, spójność 11–25 kPa. Głębokość za-
legania koluwiów, określona na podstawie wierceń, wy-
nosiła 10,2–11,5m.

Opis elementów składowych systemu

System składa się z trzech stacji pomiarowych paramet-
rów osuwiskowych (M1, M2 i M3) oraz stacji meteorologicznej (W). Pomiary realizowane są przez trzy rodzaje
urządzeń (fig. 4):

– model A z czujnikami jednoosiowymi przemieszczeń
wglębnych opuszczonymi do standardowego otworu inkli-
nometrycznego (tzw. system in-place), umożliwiającymi
pomiar w jednej osi przy maksymalnym nachyleniu ±10°.
Urządzenie przypomina standardowe inklinometry. W trzech
sondach inklinometrycznych kółka pomiarowe wpuszczane
są do rowków rur inklinometrycznych i połączone stalowy-
mi łącznikami o długości 1 m. Stacja jest dodatkowo wypo-
sazona w automatyczne czujniki do pomiaru temperatury
wód gruntowych, głębokości poziomu wód gruntowych oraz
kontroli napięcia zasilania;

– model B z systemem ciągłych segmentów pomiarowych
3D, który jest zaawansowanym technicznie sprzętem do trój-
wymiarowego monitorowania przemieszczeń wglębnych.
Umożliwia także pomiar temperatury gruntu na poszczegól-
nych głębokościach oraz kontrolę napięcia zasilania. Podob-
nie jak w standardowych inklinometrach, urządzenie umoż-
liwia pomiar wielkości przemieszczeń, jednak dla znacznie
większego zakresu odkształceń, nawet do kilku metrów. In-
stalacja składa się z szeregu sztywnych segmentów pomia-
rowych, połączonych za pomocą specjalnych elastycznych
przegubów umiejscowionych w rurach osłonowych. W ob-
rębie przegubów znajdują się czujniki grawitacyjne mie-
rzące przemieszczenia w trzech osiach. Przeguby pozwalają

na zginanie w dowolnym kierunku, ale uniemożliwiają ich
skręcanie. Standardowa długość segmentu wynosi 500 mm.
Zawiera on trzy prostopadłe czujniki nachylenia. Co ósmy
segment zawiera mikroprocesor. Dodatkowo każda z insta-
lacji zawiera mikroprocesorowy czujnik temperatury gruntu.
Automatyczne czujniki mikroprocesorowe znajdujące się
w przegubach przesyłają dane cyfrowe do rejestratora. Czuj-
niki umożliwiają obliczenie kątów nachylenia segmentów
według równania:

$$\text{sygnał} = C \times g \times \sin a \quad [1]$$

gdzie:

C – stała kalibracji,
g – przyspieszenie ziemskie,
a – kąt nachylenia.

– model C z urządzeniami do pomiarów meteorologicz-
nych: miernik opadów, barometr, czujnik wilgotności oraz
temperatury powietrza.

Schemat blokowy systemu przedstawiono na figurze 5.

W skład systemu wchodzi następujące urządzenia po-
miarowe:

- dwa automatyczne czujniki ciśnienia porowego, poziomu
wód gruntowych i ich temperatury w otworach piezome-
trycznych o głębokości 10 i 11 m. Podstawowe parametry
czujników: zakres pomiarowy 1,5 bara, rozdzielczość
0,025%, dokładność kalibracji ±0,1%, maksymalne ciś-
nienie 2 × zakres, współczynnik temperatury <0,02% na
°C, średnica czujnika mniejsza równa 29 mm;
- trzy inklinometry do pomiarów przemieszczeń wglęb-
nych:
 - inklinometr 1 (M1) złożony z trzech sensorów jedno-
osiowych oddalonych od siebie co 1 m i połączonych



Fig. 4. Rodzaje zainstalowanych urządzeń pomiarowych

The types of installed field measuring devices

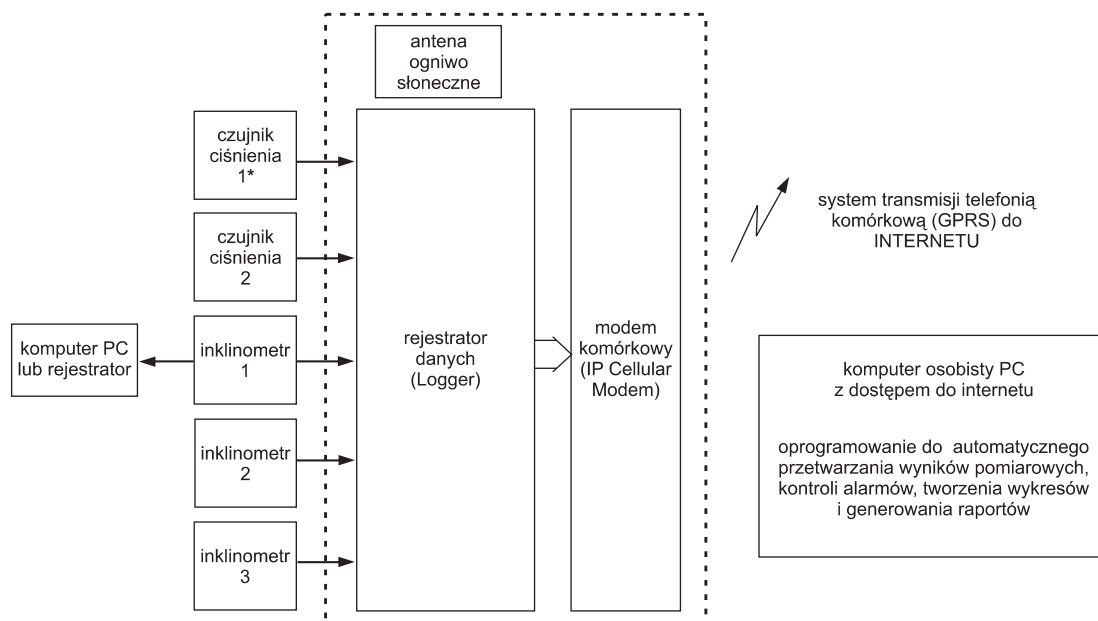


Fig. 5. Schemat blokowy automatycznego systemu monitoringu osuwisk

* czujnik ciśnienia semi-automatyczny, zainstalowany w 2006 r., niewłączony do systemu automatycznego

Automatic landslide monitoring system scheme

* semiautomatic pore pressure transducer installed in 2006, not connected to real-time monitoring system

szeregowo (multipleksowanie), opuszczony do otworu inklinometrycznego o średnicy 70 mm na głębokość 7–10 m. Podstawowe parametry inklinometru 1: zakres ± 10 stopni, rozdzielczość 9 sekund kątowych lub 0,04 mm/m przy użyciu rejestratora danych, kalibracja 11 punktów kalibracji przeprowadzonych w trzech temperaturach w zakresie od 4 do 20°C;

- dwa inklinometry skalibrowane na pomiar 3D: inklinometr 2 (M2) – cztery segmenty z ośmioma czujnikami o długości czujnika 50 cm, całkowita długość czujników 16 m, inklinometr 3 (M3) – trzy segmenty z ośmioma czujnikami o długości czujnika 50 cm, całkowita długość czujników 12 m. Podstawowe parametry inklinometrów 2 i 3: zakres ± 45 stopni, rozdzielczość przy nachyleniu 20 stopni w płaszczyźnie pionowej 0,02 mm/m (0,029 stopni), błąd przekierowania (azy-mut) przegubów $< \pm 0,25$ deg, prostopadłość segmentów $\pm 0,1$ stopni.

Rozmieszczenie elementów systemu pokazano na figurze 6.

System zawiera polowe stacje z rejestratorami, multiplexerami i interfejsami do rejestracji pomiarów ciśnienia i temperatury z otworów piezometrycznych oraz pomiarów inklinometrycznych. Są one zamontowane w szczelnych obudowach odpornych na warunki atmosferyczne oraz ziemne. Zasilanie realizowane jest przez baterie litowe, z dodatkowym doładowaniem z paneli słonecznych. W okresie zimowym może zaistnieć potrzeba ich doładowania, jednak w sezonie zimowym 2010/2011, pomimo utrzymujących się długo niskich temperatur i pokrywy śnieżnej, nie było takiej konieczności. Napięcie zasilania oraz pozostałe parametry

są w sposób ciągły przesyłane do rejestratorów danych. Umożliwiają one pobieranie informacji do przenośnego PC. System jest wyposażony w dodatkowe urządzenia umożliwiające akwizycję danych z inklinometrów pracujących samodzielnie, bez podłączenia ich do stacji polowej. Zapisane dane przesyłane są co godzinę poprzez sieć telefonii komórkowej i internet na serwer centralny. Częstotliwość ta może

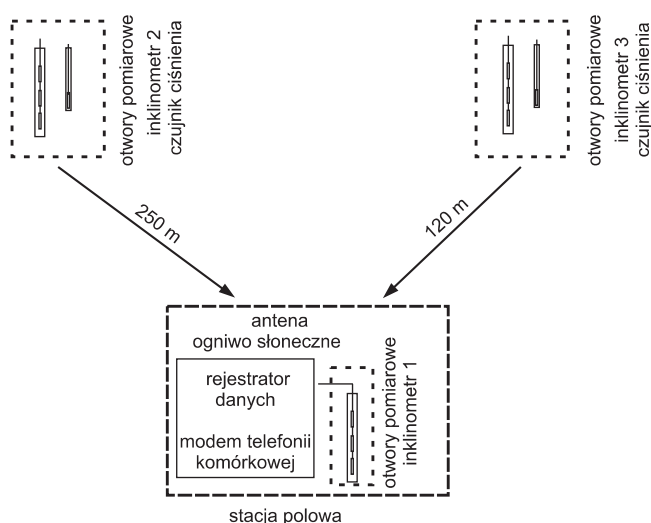


Fig. 6. Rozmieszczenie otworów pomiarowych i połączenia urządzeń pomiarowych z polową stacją rejestracji i transmisji

Borehole locations, scheme of connection between monitoring devices, loggers and data transfer system

być dowolnie zmieniana. Stacje mogą pracować w trybie izolowanym, prowadząc pomiary i rejestrując dane we własnej pamięci, lub przekazywać informacje do serwera internetowego, udostępniającego je uprawnionym użytkownikom. Centralnym punktem każdej stacji jest rejestrator, który gromadzi i przekazuje dane poprzez modem GSM/GPRS i sieć telefonii komórkowej do internetu. Każdy z punktów pomiarowych przed włączeniem do systemu został skalibrowany w zakresie głębokości pomiaru, liczby czujników oraz innych danych kalibracyjnych zależnych od specyfikacji sta-

cji. Dane uzyskane ze stacji są gromadzone na serwerze internetowym, gdzie z użyciem specjalistycznych programów mogą być edytowane w postaci wykresów i zestawień tabelarycznych. Dane te mogą być także eksportowane w postaci plików tekstowych do analiz stanu zagrożenia z wykorzystaniem innych programów, w tym do oceny ryzyka.

Aktualnie wszystkie urządzenia pracują i zbierają dane. Prowadzi się natomiast prace związane z analizą, prezentacją graficzną wyników i wprowadzeniem wielkości alarmowych.

WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW

W celu otrzymania wiarygodnych wyników zaplanowano ciągłą rejestrację i obserwację przemieszczeń wgłębnych przez okres 3 lat. Pomiary te będą uzupełnione o rejestrację ciśnienia porowego i pomiary poziomu zwierciadła wód gruntowych oraz ciągłe obserwacje meteorologiczne. Uzyskane dane mają za zadanie wyznaczenie progowych wartości alarmowych poprzez określenie wzajemnych zależności pomiędzy mierzonymi parametrami i wprowadzenie ich do systemu wczesnego ostrzegania.

Wstępne wyniki pomiarów wskazują, że w obrębie badanych stoków zachodzą przemieszczenia na głębokości 11–15 m, o różnej prędkości i kierunku. Wielkość prze-

mieszczeń jest zmienna wraz z głębokością (fig. 7, 8). Do końca maja 2011 zarejestrowano przemieszczenia, które wyniosły maksymalnie 18 mm. Głębokość strefy przemieszczeń osiągała od 12 do 15 m, przy czym największe zarejestrowano na głębokości 0–7 m.

Wpływ warunków meteorologicznych na aktywację osuwisk analizowany jest poprzez dane uzyskane z automatycznej stacji pomiarowej, zainstalowanej w bezpośrednim sąsiedztwie obszaru badań. Wykonuje ona pomiary w sposób ciągły, w interwale 10-minutowym, oraz przedstawia godzinne i dobowe wykresy wielkości opadu atmosferycznego, ciśnienia atmosferycznego, wilgotności i temperatury

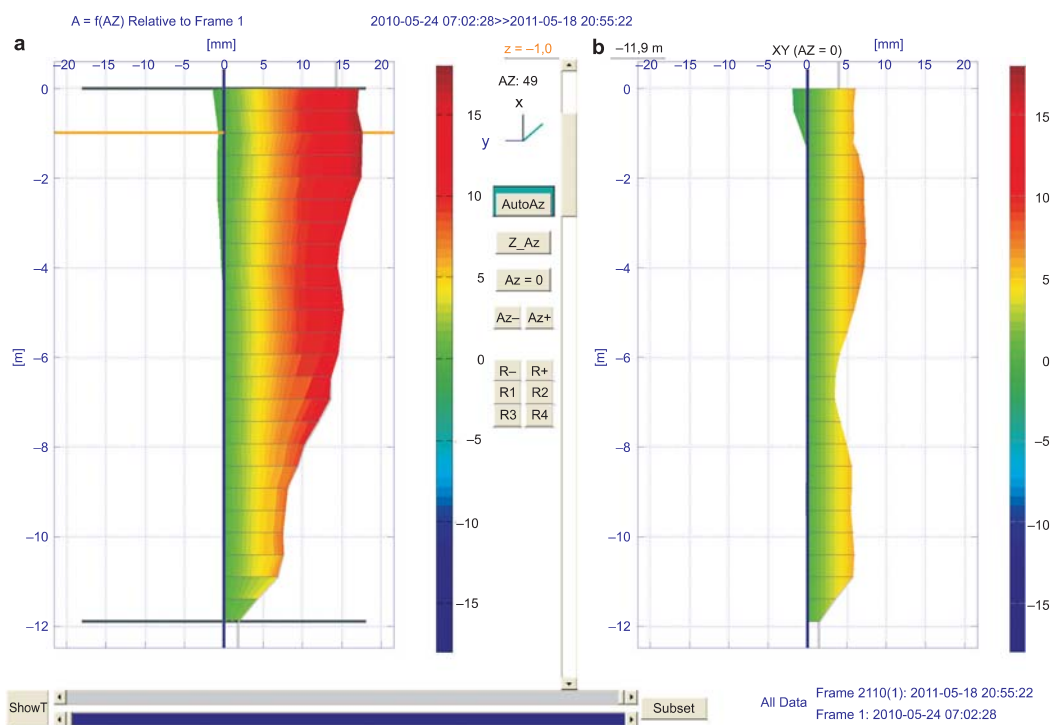


Fig. 7. Wstępne wyniki pomiarów przemieszczeń wgłębnych (2D): a – kierunek nachylenia stoku, b – kierunek poprzeczny

Preliminary results of 2D ground movements: a – parallel direction to the slope inclination, b – perpendicular direction to the slope inclination (clockwise)

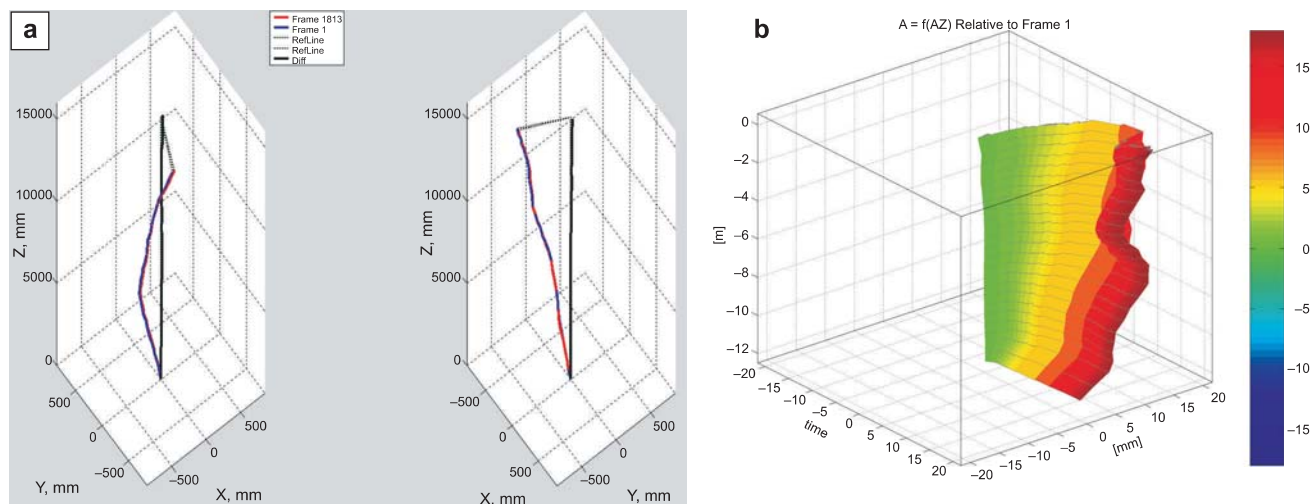


Fig. 8. Wstępne wyniki przemieszczeń wgłębnych w płaszczyznach 3D w kierunku: a – zgodnym z nachyleniem stoku i poprzecznym, b – zgodnym z nachyleniem stoku

Preliminary results of 3D ground movements: **a** – parallel and perpendicular (clockwise) direction to the slope, **b** – parallel direction to the slope inclination

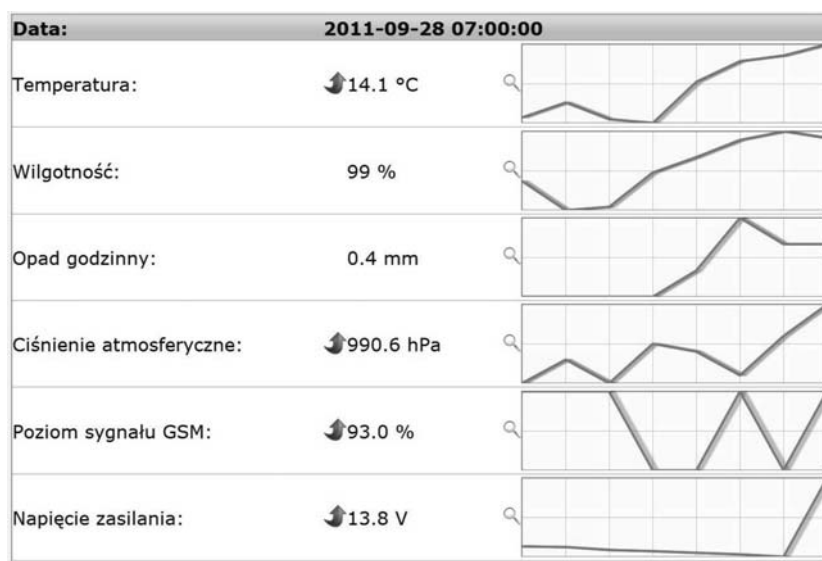


Fig. 9. Parametry mierzone przez automatyczną stację meteorologiczną

Parameters measured by the automatic meteorological station

powietrza oraz ich eksport jako plików tekstowych (fig. 9). Zabezpieczeniem systemu w przypadku awarii jest stała kontrola napięcia zasilania oraz poziomu sygnału GSM. Pomiary rozpoczęły się w maju 2010 r., co umożliwiło rejestrację wielkości rekordowych opadów atmosferycznych

w lecie tego roku (100 mm w ciągu 3 godzin). Pomiar ciśnienia atmosferycznego uruchomiono w sierpniu 2010. Uzyskane dane meteo zostaną wykorzystane do opracowania zależności korelacyjnych z wielkościami obserwowanych przemieszczeń.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono nowy system monitoringu w czasie rzeczywistym oraz osiągnięte wstępne wyniki pomiarów. Wykonane prace doprowadziły do instrumentacji stoków osuwiskowych oraz uszczegółowienia ich budowy geologiczno-inżynierskiej. Na trzech aktywnych i niebezpiecznych osuwiskach karpackich zainstalowano nowoczesne stacje pomiarowe składające się z trzech inklinometrów (3D i 2D) o łącznej długości 50 m oraz trzech czujników do pomiaru poziomu zwierciadła wód gruntowych, ciśnienia porowego i temperatury wody oraz przeprowadzono pomiary zerowe. W pobliżu zainstalowanych stacji uszczegółowiono głębokość zalegania gruntów koluwalnych. Szczegółowe określenie, do jakiej głębokości występują przemieszczenia, będzie możliwe w dalszym etapie realizacji projektu, jednakże wstępne wyniki wskazują na aktywność partii koluwiów do głębokości 12–15 m. Charakteryzują się one bardzo zmiennymi parametrami. Szczególnie duże przemieszczenia występują do głębokości ok. 3–7 m, gdzie zalegają

silnie nawodnione pospółki gliniaste o wysokim stopniu plastyczności.

Osuwiska pomimo wykonania zabezpieczenia są nadal aktywne. Świadczą o tym nowe spękania, naciągnięcie siatek Geobrug oraz szkody spowodowane w systemie odwodnienia przez opady w maju i czerwcu 2010 r. Może to niekorzystnie wpływać na drogę powiatową, szczególnie w rejonie niezabezpieczonych odcinków czoła osuwiska nr 1 Bystrzyca i fragmentów czoła osuwisk 5 i 6 wraz z nowym mostem na Bystrzance. Opady w maju i czerwcu 2010 r. wskazują, że część zabezpieczeń może nie być w pełni skuteczna w trudnych warunkach pogodowych.

Wykonane prace pozwoliły na zainstalowanie nowoczesnego systemu pomiarowego, pierwszego tego typu w Polsce, który pozwoli na obserwację osuwisk i ostrzeganie o zagrożeniach. Obecnie jest on w końcowym etapie uruchamiania. Uzyskane dane mogą być wykorzystane do uzupełnienia i poprawy istniejącego zabezpieczenia osuwisk.

LITERATURA

- BEDNARCZYK Z., 2008a — Landslide geotechnical monitoring network for mitigation measures in chosen locations inside the SOPO Landslide Counteraction Framework Project Carpathian Mountains, Poland. The First World Landslide Forum: 71–75. International Consortium of Landslides ICL, ONZ, UNESCO, World Bank, United Nations University Tokyo UNU, Kyoto University, Japan Landslide Society, International Council for Science ICSU, Tokyo.
- BEDNARCZYK Z., 2008b — Flysch landslides geotechnical monitoring in Beskidy, the Carpathian Mountains, Poland. *W: Geophysical and geotechnical site characterization* (red. An-Bin Huang, P. Mayne): 269–274. The 3rd International Conference on Site Characterization, ISSMGE, Taipei, Taiwan.
- BEDNARCZYK Z., 2009a — Wnioski z monitoringu osuwisk karpackich wykonywanego dla projektu „System osłony przeciwosuwiskowej”. XV Krajowa Konf. Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej: 463–471. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
- BEDNARCZYK Z., 2009b — Landslide risk and mitigation measures in Poland. 17th Conference on Engineering Geology: 121–126. University of Applied Sciences Zittau/Gorlitz, DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., DGG Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften e. V.
- BEDNARCZYK Z., 2009c — Ground penetrating radar (GPR) scanning in geological and geotechnical recognition. 22 SAGEEP Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems: 731–738. Fort Worth, Texas USA, EEGS, US Army Research Office, Environmental Security Technology Certification Program, US Department of the Interior - Bureau of Reclamation.
- BEDNARCZYK Z., 2010 — Soil-structure interaction on three stabilized flysch landslides in Polish Carpathians. The Proceedings of the First International Conference on Advances in Multiscale Mechanics AIMM'10: 1389–1397. Korea Advanced Institute of Science & Technology (KAIST), National Taiwan University NTU, U.S. Air Force Office for Scien. Res., Jeju Island, Korea, Techno-Press.

SUMMARY

The article presents new real-time monitoring system and the preliminary results. The works have led to the landslide slopes instrumentation development and to better recognition their geological engineering stratification. The modern monitoring field stations were installed on three active and

dangerous Carpathian landslides. System consists of three inclinometers (3D and 2D) with a total length of 50 m and three transducers to measure pore pressure, depth of water table level and the water temperature. The initial measurements were made. The actual thickness of colluviums in the area of

nearby stations was recognized. The detailed detection of depth of ground movements will be possible in later stages of the project. However, the results indicated the colluviums activity at the depth of 12–15 m. They were characterized by highly variable parameters. The particularly large displacements occurred to the depth of about 3–7 m in highly saturated mixtures of clays with crushed claystones with high degree of plasticity. Landslides, despite the stabilization works, were still active. The evidence of the new cracks, stretching of Geobrugg meshes and damages of the drainage system due to extreme rainfalls in May and June 2010 was noticed. This may adversely affect the county road, especially in

the vulnerable sections of the forehead landslide no. 1 Bystrzyca and some unprotected parts of the forehead landslides no. 5 and 6 along a new bridge over Bystrzanka river. Precipitation in May and June 2010 indicated that some of the remediation works can be not fully effective in difficult weather conditions. The works made the installation of modern, the first of this type in Poland monitoring system possible and this will allow monitoring and early warning of landslide hazard.

The system is in the final stage of commissioning. The data obtained can be used for landslides remediation works and for the improvement of security.