

Kompleksowe badania osuwisk w dolinie Brdy w Koronowie k. Bydgoszczy

Lesław Zabuski¹, Teresa Mrozek², Waldemar Świdziński¹,
Marek Kulczykowski¹, Izabela Laskowicz²



L. Zabuski



T. Mrozek



W. Świdziński



M. Kulczykowski



I. Laskowicz

Complex investigations of landslides in the Brda river valley in Koronowo near Bydgoszcz. *Prz. Geol.*, 62: 472–480.

Abstract. In the recent years intensified landsliding was observed in the surroundings and in the town of Koronowo near Bydgoszcz. (Krajeńskie Lake District). The gently undulated moraine upland, a wide valley of the Brda river, its relatively steep valleysides and incised valleys of tributaries are morphologic features related to modeling by North Polish Glaciation. Quaternary tills alternated with fluvio-glacial sands and gravels are underlined by Miocene clay and mud with brown coal intercalations. Due to such morphologic and geologic setting the study area is prone to slope instability. Failure apt soil massifs were assigned to 4 groups. Out of 32 identified landslides, 9 were selected for detailed examination. To register a nature and rate of failures a complex monitoring system was installed on slopes where the selected landslides resulted in severe damages to municipal infrastructure. The system was facilitated with inclinometers and piezometers, supported by a network of GPS-RTK geodetic benchmarks as well as with a recording weather station. The performed examination revealed that the most unfavourable arrangement of the layers is, when under a non-cohesive soil (e.g. sand, gravel) lies a cohesive impermeable layer (e.g. clay, loam). The landslides are rather shallow ones (except 2 incidents) with slow rate of displacement of an order of few mm/year. The landslide triggering factor is water originating from precipitation and snow melting. Influence of water was especially significant in early Spring 2011, due to the combined effect of snow melting and infiltration of thawing water originating from the former, exceptionally high rainfalls. The influence of hydrologic conditions on slope deformations is complex. There is a significant time-lag between a movement initiation and unfavourable hydrometeorological conditions. That is exemplified with the landslide that was initiated in February-March 2011 in consequence of atmospheric conditions of November-December 2010. The obtained results formed the background for inventing engineering treatment measures aiming at current remedial stabilization of slopes and mitigation of possible landsliding in the future.

Keywords: landslides, monitoring, Brda river valley in Koronowo

W ostatnich kilkunastu latach w Polsce powstało lub odnowiło się wiele osuwisk, powodując straty lub zagrożenia natury gospodarczej i społecznej (m.in. Biedrowski & Troć, 1997; Poprawa & Rączkowski, 1999; Grabowski i in., 2005; Rączkowski, 2007; Marciniak i in., 2011; Maślanka, 2012). Choć znacząca większość osuwisk (ponad 90%) znajduje się w Karpatach (Mrozek i in., 2000; Poprawa & Rączkowski, 2003; Chowaniec & Wójcik, 2012), to wiele występuje również na terenach nizinnych (np. Ilcewicz-Stefaniak i in., 2006; Tyszkowski, 2008, 2009). Przykładem są odcinki klifowe wybrzeża Bałtyku (Subotowicz, 2001, 2002; Tejchman i in., 1995), a także zbocza dolin większych rzek, zwłaszcza skarpy wiślane w Płocku, Wyszogrodzie oraz Dobrzyniu nad Wisłą (Bijak, 2007; Ilcewicz-Stefaniak i in., 2007) lub skłon terasy Warty w odcinku przełomowym w Poznaniu (Biedrowski & Troć, 1997).

Procesy osuwiskowe są zazwyczaj złożone i zależą od czynników geologicznych, geomorfologicznych, klimatycznych, hydrologicznych, hydrodynamicznych i od spo-

sobu użytkowania terenu. Stanowią one poważny problem natury gospodarczej, zwłaszcza na terenach poddanych antropopresji, związanej z nową zabudową, formowaniem nasypów, pozyskiwaniem kruszywa, wykopami itp.

Osuwiska w okolicach Koronowa reprezentują formy rozwinięte na styku falistej wysoczyzny morenowej oraz zboczy doliny Brdy, powstałej w wyniku erozyjnych procesów fluvio-glacialnych, a także na zboczach mniejszych cieków o analogicznej genezie (Listkowska, 1988; Kondracki, 2009).

Ponieważ osuwiska powodowały głównie zniszczenia infrastruktury miejskiej lub stanowią dla niej zagrożenie, zwłaszcza w dolinie Brdy w granicach administracyjnych Koronowa, obszar ten objęto badaniami, wykonywanymi przez Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku w ramach projektu badawczo-rozwojowego (Zabuski i in., 2012). Celem projektu było m.in. zbadanie współczesnych procesów deformacji osuwiskowych oraz określenie zależności przyczynowo-skutkowych, tj. ocena wpływu czynników biernych i aktywnych (przyczyny) na rozwój osuwisk

¹ Instytut Budownictwa Wodnego, Polska Akademia Nauk, ul. Kościarska 7, 80-328 Gdańsk; lechu@ibwpan.gda.pl, waldek@ibwpan.gda.pl, marek@ibwpan.gda.pl.

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; tmro@pgi.gov.pl; izabela.laskowicz@pgi.gov.pl.

(skutek). Do realizacji tak zakreślonych zadań utworzony został kompleksowy system pomiarowy, monitorujący zjawiska i procesy, a także pozwalający (niekiedy) na bezpośrednie przeciwdziałanie ich skutkom.

W tym artykule scharakteryzowano zastosowany system oraz przedstawiono wybrane wyniki pomiarów przemieszczeń osuwiskowych, istotne z poznawczego, metodycznego i utylitarnego punktu widzenia, z uwzględnieniem związków pomiędzy czynnikami wpływającymi na ruchy osuwiskowe a rejestrowanymi przemieszczeniami. Na tym tle są też opracowane zalecenia dotyczące rozwiązań inżynierskich, służących stabilizowaniu zboczy, z uwzględnieniem analizy kosztów oraz korzyści wynikających ze stabilizacji (Swidziński i in., 2012). Zalecenia te dają administracji terenowej, a w szczególności władzom Koronowa, podstawę do działań służących ustabilizowaniu zboczy i uniknięciu wystąpienia w przyszłości katastrofalnych zjawisk osuwiskowych.

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Obszar badań, obejmujący po części Koronowo oraz częściowo jego najbliższe okolice, znajduje się w obrębie makroregionu Pojezierza Południowo-Pomorskiego i leży w strefie granicznej pomiędzy Wysoczyzną Krajeńską a Doliną Brdy (Kondracki, 2009). W ukształtowaniu terenu tych mezoregionów wyróżnia się falistą wysoczyznę morenową, dość strome zbocze doliny Brdy oraz jej dno wraz z tarasem nadzalewowym. W topografii zaznacza się to jako próg morfologiczny. Najwyższe wzniesienia wysoczyzny przekraczają 100 m n.p.m., co w porównaniu z położeniem dna doliny Brdy tworzy deniwelację rzędu 40 m.

Pod względem geologicznym obszar badań znajduje się w strefie szwu transeuropejskiego, wypełnionego pociętymi uskokami utworami od syluru po czerwony spągowiec oraz miąższami i sfałdowanymi osadami od cechsztynu po kredę. Tworzą one antyklinorium śródpolskie, a omawiany obszar znajduje się w jego północno-zachodniej części, w segmencie pomorskim (Żelaźniewicz i in., 2011). Najstarszymi utworami nawierconymi w tym rejonie są mułowce, iłowce, piaski i piaskowce kredy dolnej (Listkowska, 1986, 1988). Są one przykryte przez oligoceńskie mułowcowo-iłowcowe warstwy czempińskie i piaszczyste warstwy mosińskie górne. Powyżej występuje warstwa piasków, iłów i mułków z przewarstwieniami węgla brunatnego miocenu górnego. Starsze utwory przykryte są ciągłą w zasadzie warstwą osadów czwartorzędowych, których miąższość jest zmienna, przy czym najmniejsza w dolinie Brdy. Na wysoczyźnie występują gliny zwałowe oraz piaski wodnolodowcowe zlodowacenia północnopolskiego, o miąższości 20–50 m i większej. Tylko lokalnie występują porwaki iłów trzeciorzędowych z przewarstwieniami mułków i węgla brunatnych wieku plioceńskiego. Ich miąższość waha się w granicach 2–30 m, co stwierdzono w kilku otworach głębszych (Listkowska, 1988) oraz płytszych (własnych), wykonanych w ramach prowadzonych badań. Na zboczach doliny występują często koluwia osuwiskowe o zróżnicowanej miąższości.

Taras nadzalewowy Brdy budują głównie piaski rzeczne o zmiennym uziarnieniu.

Koronowo znajduje się w tzw. nadnoteckiej dzielnicy rolniczo-klimatycznej, charakteryzującej się opadami 500–600 mm i więcej w ciągu roku³. Średnia wieloletnia temperatura roczna wynosi 7,6°C. Najzimniejszym miesiącem jest styczeń, ze średnią temperaturą –2,8°C, najcieplejszym lipiec z temperaturą 17,8°C. W ostatnich latach wzrosła wysokość opadów. Przykładowo w latach 1955–1981 wynosiła ona 554 mm, zaś w latach 2004–2011 – 727 mm³.

Na podstawie przeprowadzonej analizy zdjęć lotniczych i szczegółowego kartowania terenowego zidentyfikowano w rejonie Koronowa 32 osuwiska o średniej powierzchni około 0,14 ha i łącznej około 59 ha, przy czym w dwudziestu przypadkach powierzchnia średnia jest mniejsza od 0,1 ha. Do szczegółowych badań i monitorowania wybrano 9 osuwisk i wykonano na nich otwory badawcze oraz zainstalowano aparaturę pomiarową. Głównym kryterium wyboru było zagrożenie dla infrastruktury miejskiej, wywołane przez aktualny bądź potencjalny ruch osuwiskowy.

Mapę z zaznaczonymi osuwiskami „testowymi” wraz z ich oznaczeniami literowymi przedstawiono na rycinie 1. W większości znajdują się one na zachodnim zboczu doliny Brdy.

METODYKA BADAŃ I MONITOROWANIA OSUWISK

W celu rozpoznania właściwości masywu gruntowego na osuwiskach testowych wykonano 36 otworów badawczych i w części z nich zainstalowano aparaturę pomiarową. Tworzy ona kompleksowy system pomiarowy monitorujący zjawiska i procesy, a także pozwalający (niekiedy) na bezpośrednie przeciwdziałanie ich skutkom.

Opady atmosferyczne i temperatura

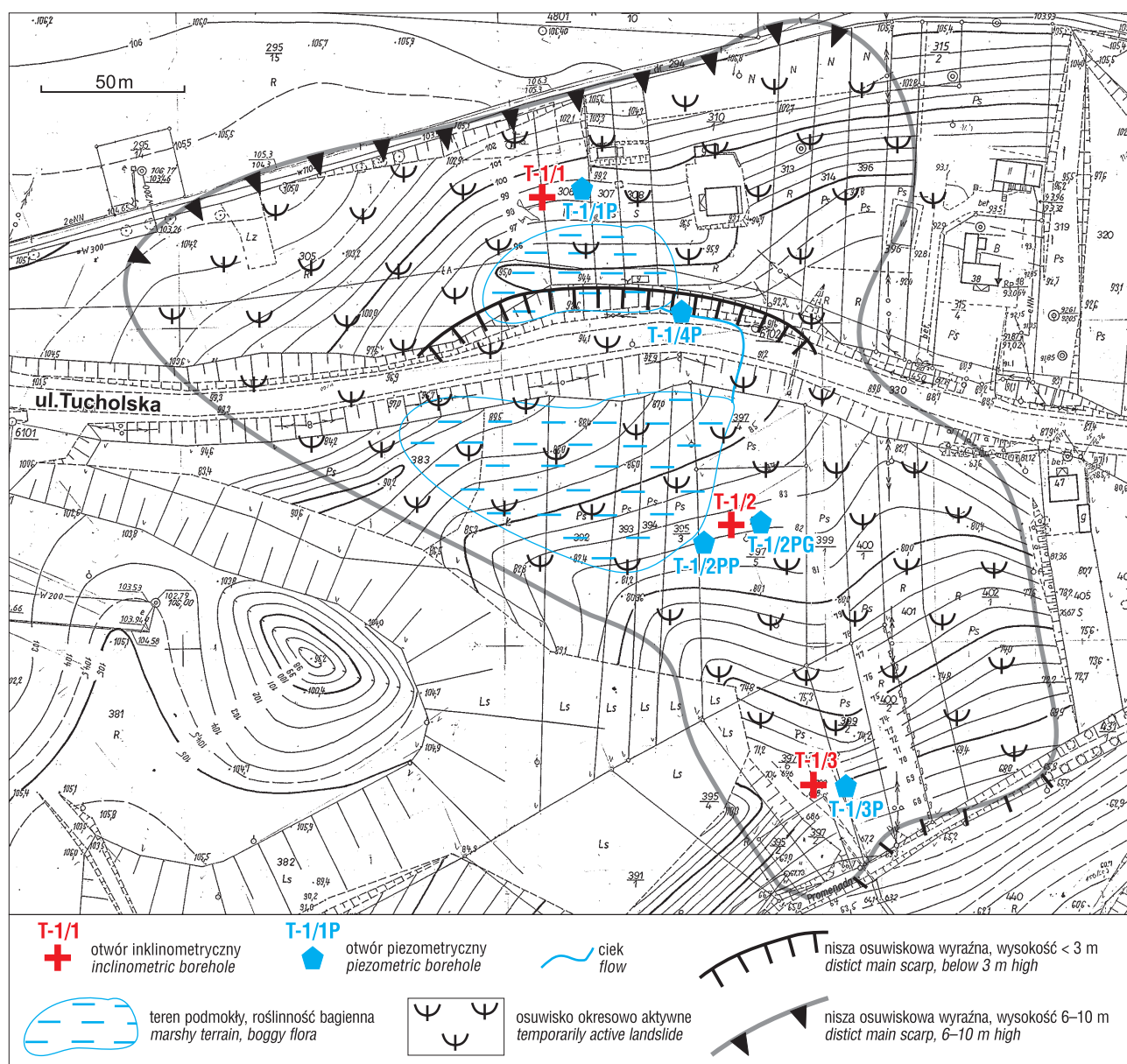
W rejonie badań zainstalowano stację pomiarową, rejestrującą w sposób ciągły wysokość opadu oraz temperaturę powietrza. Dzięki pomiarom temperatury można określić rodzaj opadu (deszcz, śnieg). Do pomiarów opadów śniegu urządzenie zaopatrzone jest w zestaw podgrzewający.

Dane dotyczące wysokości opadów w latach 1955–1981 oraz 2004–2011 uzyskano z posterunku opadowego IMGW znajdującego się w Koronowie.

Zwierciadło wody podziemnej (ZWP)

W otworach badawczych na osuwiskach zainstalowano 13 piezometrów otwartych. Pomiaru piezometryczne wykonywano w dwóch etapach. Początkowo, w okresie około 7 miesięcy prowadzono je „ręcznie” (świstawką hydrogeologiczną), średnio raz w miesiącu. W tym czasie stwierdzono, iż swobodne ZWP występuje jedynie w części otworów. W konsekwencji wytypowano 5 otworów (1 na osuwisku O, 3 na osuwisku T i 1 na osuwisku SZ) i zainstalowano w nich piezometry automatyczne, mierzące ZWP w interwałach dwugodzinnych.

³ Na podstawie danych IMGW z pomiarów na posterunku opadowym w Koronowie.



Ryc. 2. Mapa osuwiska T z zaznaczonymi otworami do pomiarów inklinometrycznych i piezometrycznych
 Fig. 2. Map of the landslide T with marked positions of the inclinometric and piezometric boreholes

mniejsza od 1 m. Struktura ta występuje jedynie w osuwisku T.

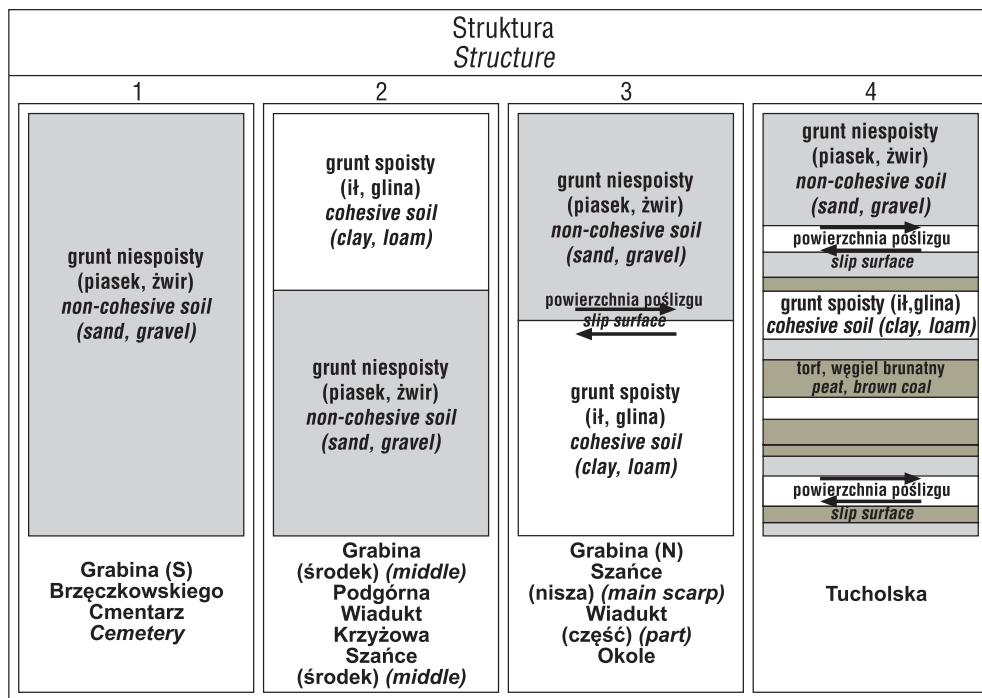
Warunki hydrogeologiczne w rejonie osuwisk są korzystne, co oznacza, że w obrębie większości utworów budujących zbocza nie stwierdzono występowania zwierciadła wody podziemnej (ZWP). Poza wysokim poziomem wody na osuwisku T, ZWP stwierdzono na głębokości 1–2 m w górnych partiach osuwiska O i na głębokości około 5 m w pobliżu skarpy głównej osuwiska SZ. Amplituda wahań ZWP nie przekracza 1 m.

Rozwojowi deformacji osuwiskowych sprzyja litologia zboczy ze struktury trzeciej i czwartej. Grunt niespoisty, przepuszczalny, zalegający bezpośrednio pod powierzchnią terenu umożliwia swobodną i szybką infiltrację wody opadowej lub roztopowej w głąb zbocza. Woda zatrzymuje się w warstwach stropowych gruntów nieprzepuszczalnych, co powoduje ich osłabienie i w konsekwencji poślizgi. W okresie od lipca 2009 r. do lipca 2012 r. procesy takie miały miejsce na osuwiskach O i W.

W warunkach geologiczno-inżynierskich i topograficznych w rejonie Koronowa budowa geologiczna masywów zboczowych obok nachylenia zboczy jest istotnym czynnikiem biernym, sprzyjającym, bądź nie, ruchom osuwiskowym. W przypadku czynników aktywnych nie stwierdzono skutków erozyjnego oddziaływania Brdy, w której prędkość przepływu jest bliska zero, jak również wpływu współczesnej antropopresji.

Monitorowanie osuwisk objęło dwa pełne sezony pomiarowe (cztery pory roku) – lata 2010 i 2011. Wysokość opadów atmosferycznych w roku 2010, równa 976 mm, przewyższała o około 34% średnią z wielolecia (727 mm), natomiast w roku 2011 wyniosła ona 647 mm, a więc była niższa od średniej o około 12% (ryc. 4).

Z punktu widzenia badań różnica ta jest korzystna, gdyż umożliwia ocenę reakcji zboczy na warunki niekorzystne oraz „średnie”, tj. bliskie średnim z wielolecia. Wyjątkowy z punktu widzenia warunków atmosferycznych był okres listopad–grudzień 2010 r. Opady w ciągu



Ryc. 3. Typowe struktury litologiczne masywu gruntowego zboczy w Koronowie wraz z lokalizacją
Fig. 3. Typical lithologic structures of the soil mass of the slopes in Koronowo with localization

tych dwóch miesięcy znacznie przewyższały analogiczne opady w poprzednich latach, tj. były większe o ponad 150% od średnich, wynoszących 93 mm. Taki nierównomierny rozkład opadów miał wpływ na obserwowany przebieg procesów osuwiskowych. Procesy te można podzielić na trzy grupy.

Grupa 1. Należą do niej dwa osuwiska – O i W, które w lutym i marcu 2011 r. uległy kilku-kilkunastometrowym przemieszczeniom. Utworzyły się lub pogłębiły skarpy osuwiskowe, zniszczone zostały otwory inklinometryczne i repery geodezyjne (ryc. 5).

Gwałtowny rozwój tych osuwisk można wyjaśnić, uwzględniając i analizując szczegółowo wcześniejsze warunki atmosferyczne, począwszy od listopada 2010 r. Na rycinie 6 przedstawiono krzywe opadu skumulowanego i temperatury w okresie 11.2010–03.2011. W listopadzie, przy dodatnich temperaturach, występowały opady deszczu o bardzo dużej wysokości, a wobec braku ewapotranspiracji woda infiltrowała w głąb zboczy. Z kolei wysokie grudniowe opady śniegu spowodowały utworzenie się pokrywy śnieżnej o znacznej grubości. Również przez większą część stycznia temperatura była ujemna. W początkowych dniach lutego nastąpił wzrost temperatury powyżej zera, zatem następowało tajanie śniegu i jednocześnie „uwolnienie” listopadowej wody. Taka kombinacja wytworzyła wyjątkowo niekorzystne warunki hydrogeologiczne w zboczach i spowodowała uruchomienie osuwisk. Dalszy wzrost temperatury wywołał rozmarzanie gruntu i ich propagację, aczkolwiek opady w późniejszym okresie były niskie. Powyższe zmiany w nawodnieniu zboczy ilustrują krzywe, obrazujące wyniki 1,5-letnich pomiarów głębokości zwierciadła wody podziemnej w dwóch otworach na osuwisku T, wykonywane przy zastosowaniu piezometrów automatycznych (ryc. 7).

Na osuwisku W pierwsze oznaki deformacji w postaci szczelin pod mostem, przy którym powstało to osuwisko,

pojawiły się już w roku 2010 r., powodując zniszczenie zainstalowanego tam otworu inklinometrycznego. Szczelinę na koronie nasypu przy przyczółku mostu zaobserwowano w połowie lutego 2011 r. (Zabuski i in., 2011). Na osuwisku O kilkumetrowe przemieszczenia zachodziły już wcześniej wiosną w 2005 r., a ruchy z przełomu lat 2010/2011 stanowią ich reaktywację.

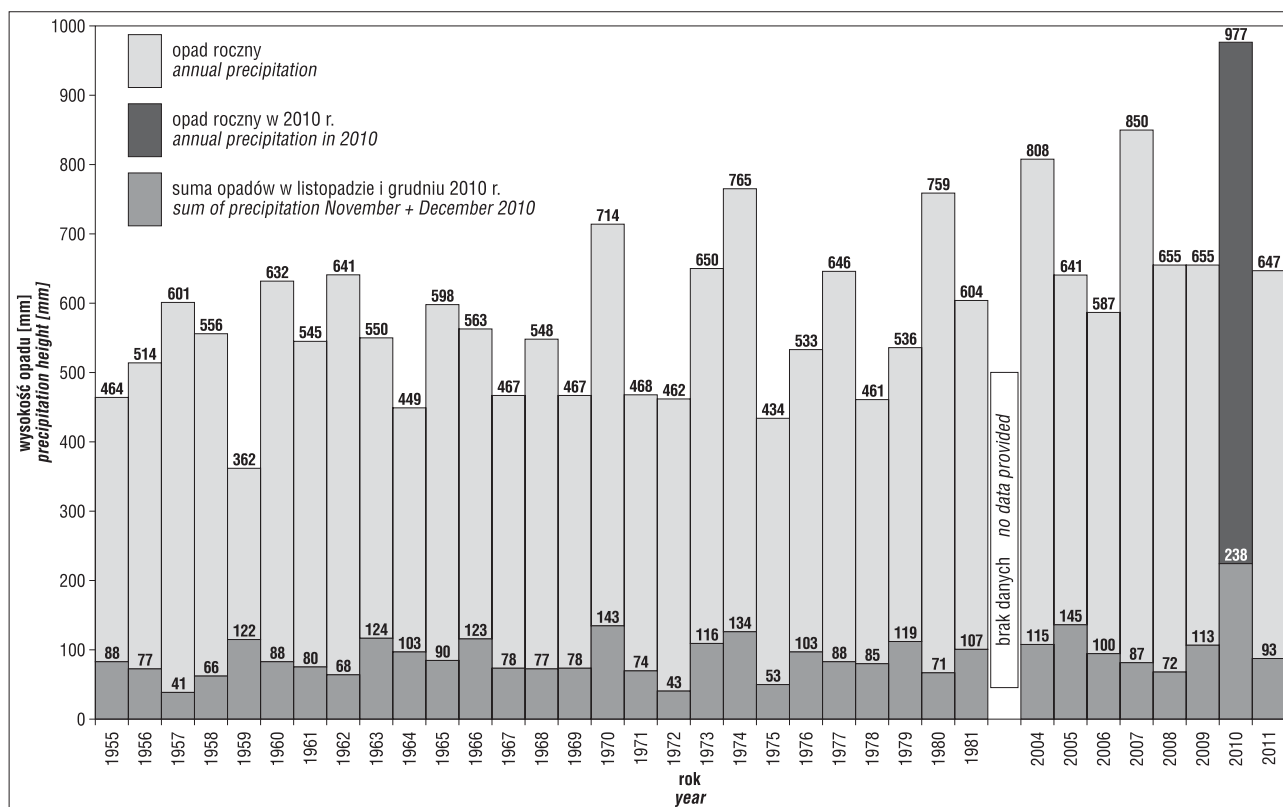
Grupa 2. Są to osuwiska T, G i SZ, które litologicznie należą do struktur trzeciej i czwartej. Mierzone przemieszczenia zachodziły powoli, z prędkością kilkunastu milimetrów na rok, a zauważalny wzrost prędkości przemieszczenia nastąpił w okresie od jesieni 2010 do wiosny 2011 r., a więc w tym samym czasie, w którym wystąpiły ruchy osuwiska z grupy pierwszej.

Grupa 3. Obejmuje osuwiska C, P, K, B oraz południową część osuwiska G, które z punktu widzenia litologii zaliczane są do struktury pierwszej i drugiej, na których w okresie monitorowania nie rejestrowano przemieszczeń.

Głębokość osuwisk jest generalnie niewielka – od 1,5–2,5 m do około 5 m. Wyjątkiem jest osuwisko T. W jego najwyższej części zarejestrowano poślizg na głębokości 7,5 m i ruch o mniejszej intensywności na głębokości 15,7 m. Płytszy zsuw może mieć charakter wtórny, zaś głębsza powierzchnia poślizgu może świadczyć o istnieniu starego osuwiska „pierwotnego”. Także w otworze w środkowej części osuwiska powierzchnia poślizgu przebiega stosunkowo głęboko, tj. na głębokości 13 m (ryc. 8). Jedyne w rejonie czoła głębokość powierzchni poślizgu zmniejsza do około 6 m.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W celu rozpoznania procesów deformacji zboczy zbudowano system pomiarowy, w ramach którego mierzono wielkości stanowiące przyczynę ruchów („przyczynowe”), tj. opady atmosferyczne i warunki wodne (ZWP) w zbo-



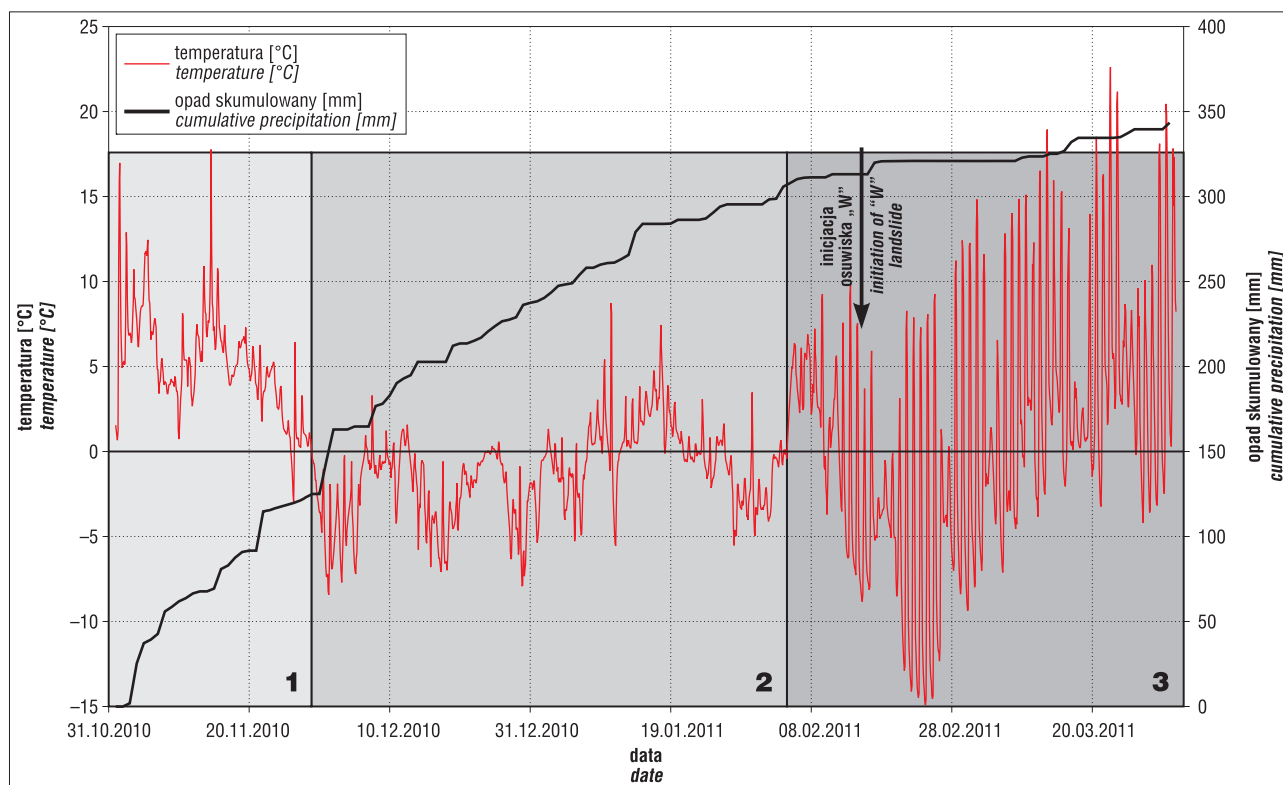
Ryc. 4. Wysokości opadów rocznych i w miesiącach listopad–grudzień w latach 1955–1981 oraz 2004–2011

Fig. 4. Annual and November–December precipitation in the years 1955–1981 and 2004–2011



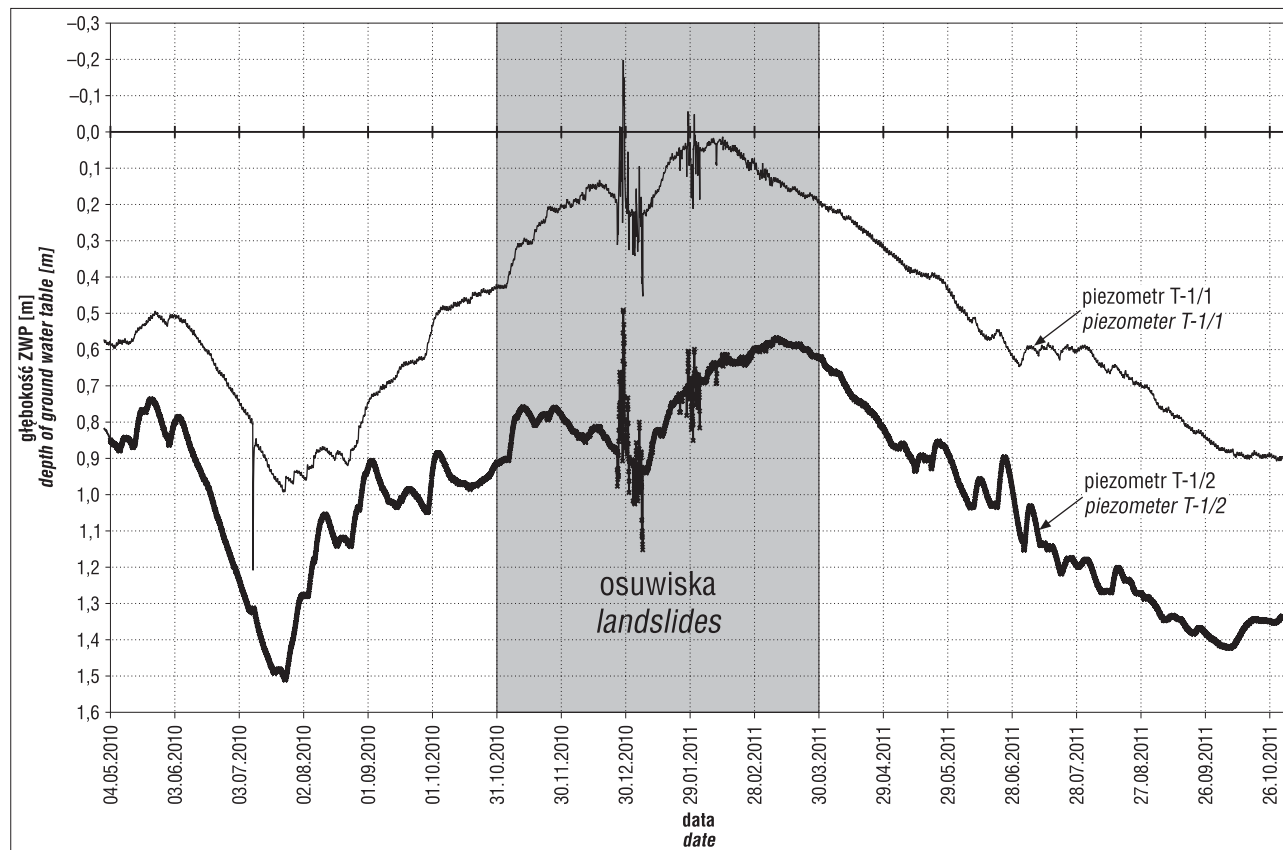
Ryc. 5. Widok osuwiska O po wystąpieniu deformacji w okresie wczesnowiosennym 2011 r. Fot. L. Zabuski

Fig. 5. View o landslide O after deformations occurrence in early-spring season 2011. Photo by L. Zabuski



Ryc. 6. Krzywe opadu skumulowanego i temperatury w okresie od listopada 2010 do kwietnia 2011 r.

Fig. 6. Curves of cumulative precipitation and temperature from November 2010 to March 2011

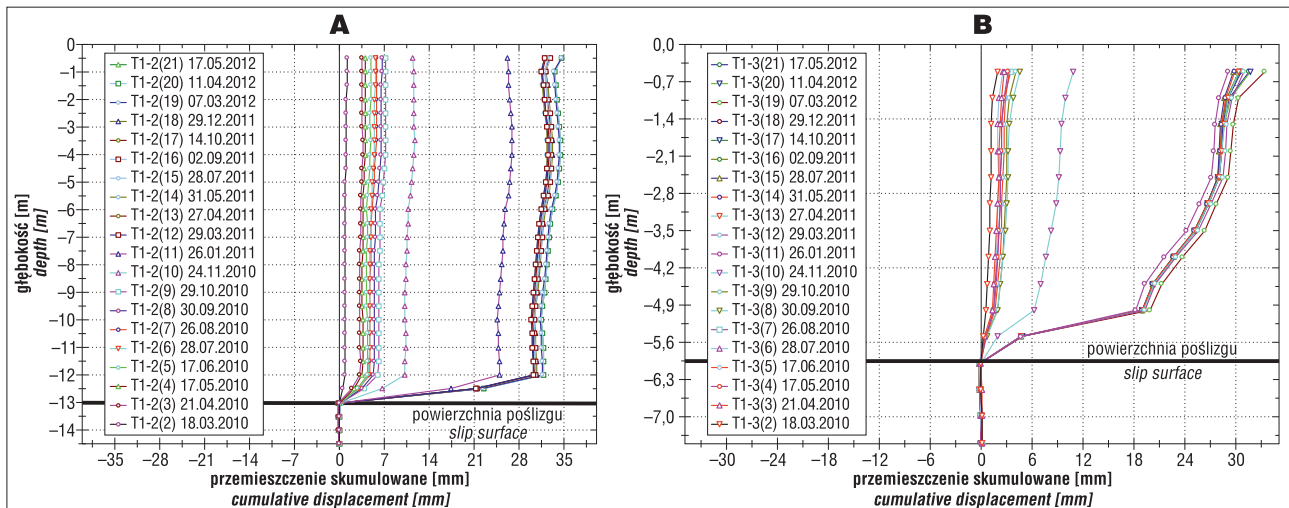


Ryc. 7. Krzywe zwierciadła wody podziemnej w otworach na osuwisku T

Fig. 7. Curves of groundwater level depth in the boreholes on T landslide

czach osuwiskowych (czynniki aktywne), oraz wielkości będące skutkiem ich oddziaływania („skutkowe”), tj. przemieszczenia zbocza.

Pierwotną przyczyną (czynnikiem biernym) ruchów masowych na terenie Koronowa jest specyficzna budowa geologiczna masywu gruntowego budującego zbocza doliny



Ryc. 8. Krzywe przemieszczenia otworów T-1/2 i T-1/3 na osuwisku T, z zaznaczonymi powierzchniami poślizgu
Fig. 8. Inclinometric displacements of T-1/2 and T-1/3 boreholes (landslide T)

Brdy. W wyniku 2,5-letnich badań i pomiarów określono rodzaj masywu gruntowego, najbardziej podatny na rozwój ruchów masowych. Z punktu widzenia litologii najbardziej korzystny dla tworzenia się osuwisk jest układ, w którym pod warstwami gruntów przepuszczalnych, niespoistych (np. pod piaskami, żwirami) zalegają grunty spoiste (np. iły, gliny). Na zboczach zbudowanych w całości z gruntów niespoistych (struktura pierwsza – utwory sandrowe) nie obserwowano głębszych ruchów masowych. Powstają tam niekiedy bardzo płytkie (1–2 m) zsuwy o małej powierzchni, np. osuwisko C.

Jak wykazały badania, jedynym czynnikiem aktywnym, generującym ruchy osuwiskowe w Koronowie, jest woda pochodząca z opadów i z topniejącego śniegu. Wpływ warunków wodnych był szczególnie wyraźny w okresie wczesnowiosennym 2011 r., gdy wystąpił łączny efekt topnienia śniegu i nawodnienia zboczy w wyniku infiltracji wody opadowej, pochodzącej z wcześniejszych, ponadnormatywnych opadów deszczu.

W artykule wykazano, iż wpływ warunków wodnych na deformacje zboczy ma charakter złożony i inicjacja zsuwu może nastąpić ze znacznym opóźnieniem w stosunku do okresu, w którym występują niekorzystne warunki atmosferyczne. Przykładem jest osuwisko W, które powstało w lutym i marcu 2011 r., tj. po około 2–3 miesiącach w stosunku do okresu listopad–grudzień 2010 r., kiedy zaistniały warunki atmosferyczne, wpływające na jego inicjację i rozwój. Wniosek ten można uznać za „pesymistyczny”, gdyż wskazuje on, że określanie związków przyczynowo-skutkowych jest zadaniem trudnym.

Według zmodyfikowanej klasyfikacji osuwisk (Dikau i in., 1993; Cruden & Varnes 1996; Margielewski 2004, 2009) monitorowane i omówione tu osuwiska są to osuwiska złożone, rotacyjno-translacyjne. Wskazują na to formy morfologiczne terenu, odsłonięcia naturalne oraz wyniki pomiarów inklinometrycznych. W partiach najwyższych tworzą się nisze o kształcie kołowym (rotacja), zaś w częściach centralnej i czołowej powierzchni poślizgu mają kształt zbliżony do prostoliniowego (translacja). Nie można jednoznacznie określić miejsca inicjacji procesu, jednak z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, iż ruchy mają charakter progresywny – od góry do dołu, a więc ini-

cjacja następuje w najwyższych partiach zboczy. Powstają tam szczeliny, a wpływająca do nich woda osłabia grunt, wywierając jednocześnie ciśnienie na ich ścianki. Miąższość koluwiów wynosi 2–5 m. W wyjątkowych przypadkach, na osuwiskach stosunkowo rozległych, występują zsuwy na większych głębokościach (osuwisko T).

Utworzony system monitorowania umożliwia pomiary wielkości „przyczynowych” (*preparatory factors*) Dikau i in. (1973) w sposób ciągły – przez piezometry automatyczne i stację opadową, natomiast pomiary przemieszczenia wykonywano średnio raz w miesiącu. Uniemożliwia to zbadanie czasu i intensywności reakcji zboczy na chwilowe zmiany wielkości „przyczynowych”. Dlatego wskazane byłoby zainstalowanie w przyszłości w otworach badawczych inklinometrów stałych, mierzących przemieszczenia w sposób ciągły.

Trzeba podkreślić, że tylko dwa osuwiska (W i O) na badanym obszarze przemieszczały się z dużą prędkością – kilka metrów na dobę – przy zarejestrowanych ekstremalnie niekorzystnych warunkach atmosferycznych, po czym w krótkim czasie znalazły się w równowadze z otoczeniem. Procesy osuwiskowe na zboczach były w większości powolne (por. Cruden & Varnes, 1996) i długotrwałe, o czym można także wnosić na podstawie analizy zdjęć lotniczych, obejmujących teren badań. Dlatego dopiero po wieloletnim okresie badań i pomiarów możliwe byłoby zgromadzenie danych nie obciążonych przypadkowością i wiarygodne wnioskowanie.

Wyniki uzyskane z monitorowania wielkości przemieszczeń, wahań ZWP oraz położenia płaszczyzny poślizgu są jednak istotne nie tylko z metodycznego i poznawczego punktu widzenia, lecz mają także znaczenie użytkowe. Na ich podstawie zostały opracowane zalecenia, dotyczące rozwiązań inżynierskich, służących stabilizowaniu zboczy, z uwzględnieniem analizy kosztów oraz korzyści wynikających ze stabilizacji (Swidziński i in., 2012). Zalecenia te dają administracji terenowej, a w szczególności władzom Koronowa, podstawę do działań, służących ustabilizowaniu zboczy i uniknięciu wystąpienia w przyszłości katastrofalnych zjawisk osuwiskowych.

Prace były realizowane w ramach projektu NCBiR Nr14-0008-06 pt. "Opracowanie koncepcji ustabilizowania osuwisk w dolinie Brdy w Koronowie z uwzględnieniem mechanizmów deformacji zboczy i oceną ryzyka osuwiskowego" (07.2009–07.2012). Autorzy składają podziękowania władzom Koronowa za współpracę i cenne wsparcie w realizacji projektu.

Autorzy dziękują Recenzentom za konstruktywne uwagi i pomoc w pracach nad ostateczną wersją tekstu.

LITERATURA

- BIEDROWSKI Z. & TROĆ M. 1997 – Awaria budynków posadowionych na zboczu osuwiskowym doliny Warty w Poznaniu. XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaria Budowlane”, Szczecin–Międzyzdroje, maj 1997 r.
- BIJAK G. 2007 – Ruchy masowe na skarpie wiślanej w Dobrzyniu nad Wisłą, *Czasopismo Forum Geologicznego*, 4 (1): 1–8.
- BOGUSZ J., KUJAWA L., KURKA W., ROGOWSKI J., SZOŁUCHA M., KORCZ M. & LESZCZYŃSKI W. 2000 – Studies on different application of real-time kinematic GPS, *Report on Geodesy*, 6/52: 173–179.
- CHOWANIEC J. & WÓJCIK A. (red.) 2012 – Osuwiska w Województwie Małopolskim. Atlas-Przewodnik, Państw. Inst. Geol., Oddział Karpacki, Kraków: 144.
- CRUDEN D.M. & VARNES D.J. 1996 – Landslide Types and Processes. [W:] Turner A.K., Schuster E. (red.) *Landslide Investigations and Mitigation*, Transportation Research Board, NRC Washington D.C., Special Report, 247: 36–75.
- DIKAU R., BRUNDTSEN D., SCHROTT L. & IBSEN L.M. (red.) 1996 – *Landslide Recognition: Identification, Movement and Causes*, J. Wiley & Sons, s. 251.
- DOMAŃSKA D. & WICHUR A. 2007 – Możliwości wykorzystania pomiarów inklinometrycznych do oceny stateczności skarp, *Górnictwo i Geoinżynieria*, AGH, Kraków 31 (3): 97–103.
- GRABOWSKI D., GRANICZNY M. & RĄCZKOWSKI W. 2005 – SOPO – osuwiska pod kontrolą, strona Państw. Inst. Geol. <http://148.81.254.67/pl/instytut-geologiczny-badania/bezpieczna-infrastruktura/2005-sopo-osuwiska-pod-kontrola.html>.
- GREEN G.E. & MIKKELSEN P.E. 1986 – Measurement of ground movement with inclinometers, *Proc. 4th Int. Geotechnical Seminar on Field Instrumentation and In Situ Measurements*, Singapore: 235–246.
- GREEN G.E. & MIKKELSEN P.E. 1988 – Deformation measurements with inclinometers, *Transportation Research Record* 1169, TRB Washington: 1–15.
- HU G.R., KHOO H.S., GOH P.C., LAW C.L. 2003 – Development and Assessment of GPS Virtual Reference Stations for RTK Positioning, *J. Geodesy*, 77: 292–302.
- ILCEWICZ-STEFANIUK D., CZERWIŃSKI T., KORYCZAN A., TARGOSZ P. & STEFANIUK M. 2006 – Landslides survey in the northeastern Poland, *Proc. Conf. Mass Movements Hazard in Various Environments*, Kraków, PGI, Spec. Papers, 20: 67–73.
- ILCEWICZ-STEFANIUK D. & STEFANIUK M. 2007 – Procesy osuwiskowe w dolinie Wisły, III Symp. WPGIwP, Puszczkowo k. Poznania: 393–399.
- LISTKOWSKA H. 1986 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusz Koronowo. Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LISTKOWSKA H. 1988 – Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, arkusz Koronowo., Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KONDRACKI J. (red.) 2009 – *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa, s. 441.
- MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WARMUZ B., WÓJCIK A. & ZIMNAL Z. 2011 – Uaktywnienie osuwisk w polskich karpatach fliszowych w 2010 roku. *Posiedzenie PIG-2011*, 67(19): 26–27.
- MARGIELEWSKI W. 2004 – Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych, *Prz. Geol.*, 52 (7): 603–614.
- MARGIELEWSKI W. 2009 – Problematyka osuwisk strukturalnych w Karpatach fliszowych w świetle zunifikowanych kryteriów klasyfikacji ruchów masowych – przegląd krytyczny. *Prz. Geol.*, 57: 905–917.
- MAŚLANKA K. 2012 – Osuwisko w Kłodnem, *Aura*, 6: 8–10.
- MROZEK T., RĄCZKOWSKI W. & LIMANÓWKA D. 2000 – Recent landslides and triggering climatic conditions in Laskowa and Pleśna regions, *Polish Carpathians, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 34: 89–112.
- POPRAWA D. & RĄCZKOWSKI W. 1999 – Geologiczne skutki powodzi w 1997 roku na przykładzie osuwisk województwa nowosądeckiego. [W:] Starkel L., Grell J. (red.) *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 r.*, Wydawnictwa Oddziału PAN, Kraków: 119–132.
- POPRAWA D. & RĄCZKOWSKI W. 2003 – Osuwiska Karpat. *Prz. Geol.*, 51: 685–692.
- RĄCZKOWSKI W. 2007 – Landslide hazard in the Polish Flysch Carpathians, *Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcanica*, 41: 61–75.
- STARK T.D. & CHOI H. 2008 – Slope inclinometers for landslides, *Landslides*, 5: 339–350.
- SUBOTOWICZ W. 2001 – Litodynamika brzegów klifowych Wybrzeża Polski, GTN-Gdańsk, Ossolineum.
- SUBOTOWICZ W. 2002 – Osuwisko na klifie w Jastrzębiej Górze w rejonie byłego O.W. Horyzont, V Konferencja Geologia i Geomorfologia Pobrzeża Południowego Bałtyku, Słupsk–Rowy, 6–8.06.2002, Słupsk, Pomorska Akademia Pedagogiczna, s.62.
- ŚWIDZIŃSKI W., ZABUSKI L. & KULCZYKOWSKI M. 2012 – Opracowanie koncepcji ustabilizowania osuwisk w dolinie Brdy w Koronowie z uwzględnieniem mechanizmów deformacji zboczy i oceną ryzyka osuwiskowego (sprawozdanie z wykonania projektu badawczo-rozwojowego NCBiR, nr R14 0008 06), IBW PAN, Gdańsk, opracowanie wewnętrzne.
- TEJCHMAN A., GWIZDAŁA K., ŚWIDZIŃSKI W., BRZOZOWSKI T. & KRASIŃSKI A. 1995 – Stateczność i ochrona klifów polskiego Wybrzeża, *Politechnika Gdańska, Gdańsk*, s. 152.
- TYSZKOWSKI S. 2008 – Badania rozwoju osuwisk w rejonie Świecia, na podstawie materiałów fotogrametrycznych. *Landform Analysis*, 9: 385–389.
- TYSZKOWSKI S. 2009 – Zjawiska i formy osuwiskowe w wąwozie Czerwonej Wody (Wysoczyzna Świecka) – wybrane problemy. *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce. Biuletyn Monitoringu Środowiska, Szymbark*: 316–321.
- ZABUSKI L. 2013 – Ocena procesów osuwiskowych na podstawie wyników pomiarów inklinometrycznych, *Prz. Geol.*, 61 (4): 248–256.
- ZABUSKI L., WÓJCIK A., GIL E., MROZEK T. & RĄCZKOWSKI W. 2009 – Landslide processes in flysch massif – case study of the Kawiory landslide, *Beskid Niski Mts. (Carpathians, Poland). Geol. Quart.*, 53 (3): 317–332.
- ZABUSKI L., ŚWIDZIŃSKI W. & KULCZYKOWSKI M. 2011 – Ekspertyza geotechniczna dotycząca przyczyn powstania osuwiska nasypu kolejowego, wpływu osuwiska na stateczność prawobrzeżnego przyczółka mostu kolejki wąskotorowej w Koronowie oraz koncepcji jego zabezpieczenia, IBW PAN, Gdańsk.
- ZABUSKI L., ŚWIDZIŃSKI W. & KULCZYKOWSKI M. 2012 – Identyfikacja i monitorowanie procesów osuwiskowych w dolinie Brdy w Koronowie k. Bydgoszczy, *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 6: 691–700.
- ŻELAŻNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARKOWSKI P. H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J. & ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. *Komitet Nauk Geologicznych PAN, Warszawa*, 2011.

Praca wpłynęła do redakcji 9.02.2013 r.
Akceptowano do druku 21.05.2014 r.