

Sebastian Tyszkowski

Polska Akademia Nauk

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania

Zakład Geomorfologii i Hydrologii Niżu

sebastian.tyszkowski@geopan.torun.pl

**REKONSTRUKCJA DYNAMIKI ORAZ PRÓBA OKREŚLENIA
CZYNNIKÓW INICJUJĄCYCH RUCHY OSUWISKOWE WE WIĄGU
(DOLINA DOLNEJ WISŁY)**

**Reconstruction of the dynamics and attempt of defining indicators
of mass movements in Wiąg landslide (lower Vistula valley)**

Abstract: The article presents the reconstruction of dynamics and development of a landslide in Wiąg. The study area is located in lower Vistula valley, near Świecie. Research conducted since 2007 shows that the landslide in Wiąg had developed in stages. Aerial photography from the last 50 years have been used in order to define the dynamics of the landscape. The first phase of development was a shallow landslide in the eastern part. In 1979, during one of the biggest floods in XXth century the most important episode took place. A landslide with the area of 22000m² arose. In next few years the landslide hasn't shown any significant activity. In 2010, during the flood, it revived. There has been conducted an analysis of geological structure and water levels, that enabled to define the main factors causing the rise of the landslide. One of the most important factors is the loss stability of the slope caused by increased pore pressure during the rapid decrease of flood wave.

Słowa kluczowe: osuwiska, geozagrożenia, dolina dolnej Wisły, Wiąg, wykorzystanie zdjęć lotniczych w geomorfologii

Key words: landslides, geohazards, lower Vistula valley, Wiąg, use of aerial photography in geomorphology

WSTĘP

Wiosną 2010 r. na terenie Polski doszło do powstania i odmłodzenia setek osuwisk, na skutek długotrwałych i intensywne opadów deszczu. Obszarem na którym zaobserwowano w tym okresie zdecydowanie najwięcej ruchów ma-

sowych były Karpaty. W dolinie dolnej Wisły, w obrębie której w minionych kilkunastu latach zbcza cechowały się generalnie brakiem aktywności osuwiskowej, w 2010 r. również doszło do odmłodzenia istniejących form. Ich przykładem są zmiany, jakie zaszły na osuwisku we Wiągu, położonym w odległości 5 km na wschód od Świecia.

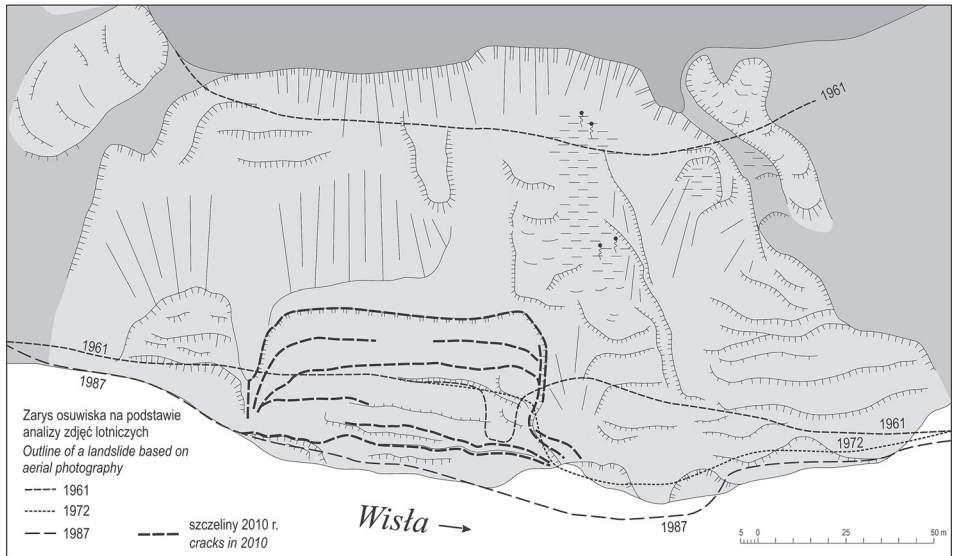
Celem pracy jest określenie genezy i przyczyn obecnego ożywienia osuwiska we Wiągu. Wiele wskazuje na to, iż główny czynnik aktywny, który przyczynił się do jego powstania, był efektem ekstremalnych zdarzeń opadowych, mających miejsce w Polsce południowej.

OBSZAR I METODY BADAŃ

Obszar badań przedstawiony w niniejszej pracy stanowi fragment strefy krawędziowej Doliny Dolnej Wisły i Wysoczyzny Świeckiej między Świeciem a Wiągiem na długości niemal 6 km. Wysoczyzna, której powierzchnia osiąga tu wysokości około 85 m n.p.m., rozczłonkowana jest nielicznymi dolinkami erozyjnymi. Nachylenia stoków wynoszą od 20 do ponad 45°. Rzędna zwierciadła wody Wisły dla średnich stanów wynosi 20,6 m n.p.m. Strefa bezpośrednio narażona na działanie erozyjne rzeki ma długość 3 km. U podnóża zbcza wykształciła się niewielka terasa długości 10-20 m, która jest niemal corocznie zalewana w okresie większych wezbrań. Obszar ten badany jest przez autora od 2007 r., pod kątem rozpoznania budowy geologicznej, występujących form i procesów geomorfologicznych, jak i prowadzony jest powierzchniowy monitoring geodezyjny na wybranych osuwiskach.

W wyniku szczegółowego kartowania geomorfologicznego udokumentowano na tym obszarze 94 osuwiska, o zróżnicowanych rozmiarach i morfologii, z których większość to formy płytkie, aktywne okresowo. Zbcze, na którym rozwinęło się osuwisko we Wiągu, zbudowane jest z horyzontalnie zalegających utworów czwartorzędowych. Trzy warstwy glin rozdzielone są piaskami, pyłami oraz iłami. W celu rozpoznania budowy geologicznej w obrębie osuwiska wykonano kilkanaście wierceń ręcznych do głębokości 6-7 m, a następnie porównano je z archiwalnymi materiałami pochodzącymi z pobliskich wierceń hydrogeologicznych stanowiących odzwierciedlenie niezaburzonego układu warstw.

Osuwisko we Wiągu ma powierzchnię 2,2 ha, długość 130 m i szerokości 250 m (ryc. 1). Jego morfologia jest bardzo urozmaicona, posiada ono liczne progi akumulacyjne oraz nisze wtórne o wysokości skarp dochodzącej do 7 metrów. Jest największą tego typu formą na przedstawionym odcinku strefy krawędziowej i jednym z największych aktywnych osuwisk w obrębie Doliny Dolnej Wisły poniżej Zbiornika Włocławskiego. Informacje o jego istnieniu po raz



Ryc. 1. Szkic morfologii osuwiska we Wiągu.

Fig. 1. Wiąg landslide's morphology sketch.

pierwszy przedstawione zostały w inwentaryzacji osuwisk w 1971 r. (Kühn, Miłoszowska 1971), było ono również wzmiankowane przez M. Banacha (1998). Ogólny zarys formy został przedstawiony we wcześniejszych pracach autora (Habel i in. 2008, Tyszkowski 2008).

ROZWÓJ OSUWISKA WE WIĄGU

Analiza dostępnych materiałów fotogrametrycznych pozwoliła na rozpoznanie zmian, jakie zaszły w obrębie osuwiska we Wiągu do 2005 r. W tym celu wykorzystano dostępne zdjęcia lotnicze z lat 1961, 1972, 1987, 1996 i 2005 w skalach od 1:12 000 do 1:26 000. Poddane rektyfikacji materiały fotogrametryczne, zależnie od skali, umożliwiły ocenę przemieszczeń poziomych z dokładnością od 0,5 do 1,5 m. Procedurę porównania zdjęć wykonano za pomocą oprogramowania GIS. Materiał poddano również analizie stereoskopowej w celu określenia zmian morfologii formy.

Zbocze doliny zobrazowane na zdjęciu z 1961 r. nie przejawiało cech wskazujących na istnienie w tym miejscu wcześniejszych przemieszczeń gruntu o charakterze osuwiskowym. Wielkość deniwelacji stoku wynosiła 63 m, a długość 100 m, przy nachyleniu wynoszącym 42°. W latach 1961-1972 we wschodniej części zbocza doszło do powstania osuwiska. Miało ono cechy płytkiego zsuwu, obejmującego całą długość stoku. We wschodnim fragmen-

cie przemieszczenia miały postać jednorazowego głębszego ruchu rotacyjnego. Powierzchniowe, poziome przemieszczenia gruntu oszacowano na 5 do 10 m. Koluwia osuwiska wkroczyły w koryto rzeki na odległość kilkunastu metrów, w efekcie całkowicie zniszczyły 25 metrową ostrogę.

Między latami 1972 a 1987 doszło do powstania potężnego zsuwu obejmującego cały stok. Z przekazów ustnych wynika, że był to proces nagły, jednorazowy i miał miejsce 13 kwietnia 1979 r. w trakcie trwania jednego z największych wezbrań na Wiśle w XX w. Górna krawędź niszy osuwiska uległa przemieszczeniu niemal o 20 m w kierunku wysoczyzny, a czoło osuwiska przemieściło się znacznie w głąb koryta rzeki. Po 8 latach od powstania osuwiska zasięg koluwiów w Wiśle wynosił ponad 28 m w stosunku do pierwotnego zarysu zbocza.

Wykonane wiercenia i odsłonięcia potwierdziły rotacyjną formę ruchu osuwiska. Budowa geologiczna i wielkość przemieszczeń wskazuje, że powierzchnia poślizgu mogła powstać na głębokości kilkunastu metrów. W przypadku wystąpienia osuwisk w gruntach niejednorodnych, a z takich zbudowane jest zbocze we Wiągu, płaszczyzna poślizgu może nie być na pełnej długości cylindryczna, a mieć postać płaszczyzny łamanej (por. Wiłun 2007). Na taką interpretację wskazuje morfologia badanej formy. Na fragmentach osuwiska stwierdzono obecność przemieszczonych pakietów iłu o miąższości 3-5 m o konsekwentnym nachyleniu do zbocza, które w formie bloków zsunęły się po powierzchni osuwiska.

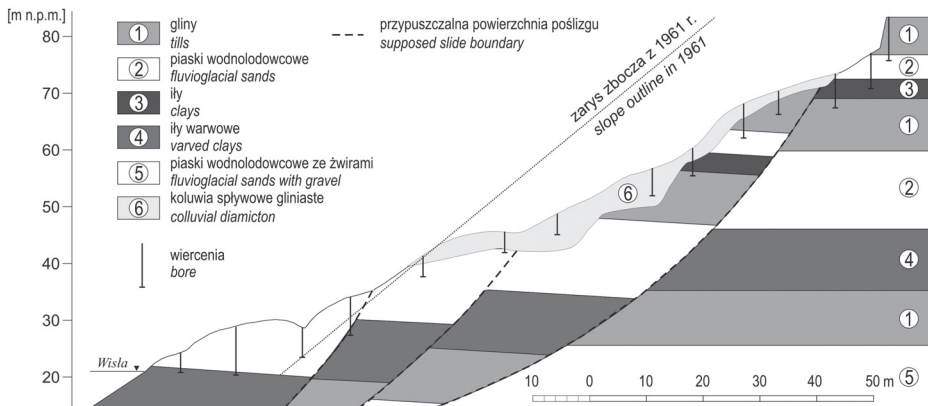
W kolejnych latach osuwisko pozostawało stabilne. Jedynie w części środkowej o szerokości 25 i długości 120 m obserwowano przejawy aktywności o cechach powolnego pełznięcia, z płaszczyzną poślizgu położoną na głębokości nie przekraczającej 1,5-2 m. W niszy głównej stale obserwowane są niewielkie aktywne obrywy, będące głównie efektem wietrzenia, spowodowanego higroskopijnymi właściwościami gruntów ilastych oraz naturalną tendencją do występowania spękań blokowych w glinach (por. Ostaficzuk 1998). W okresie prowadzonego monitoringu geodezyjnego w latach 2007-2009 forma w ujęciu ogólnym nie wykazywała aktywności.

W grudniu 2009 r. w dolnej części osuwiska, 10-15 m od czoła, doszło do powstania niewielkich szczelin szerokości kilku cm i długości od kilku do kilkunastu metrów. Sytuacja ta nie uległa zmianie do końca maja 2010 r., kiedy to doszło do przejścia fali wezbraniowej na Wiśle. W dniach między 3 a 5 czerwca nastąpiło wyraźne przemieszczenie gruntu w obrębie największej niszy wtórnej. W obrębie przemieszczonych koluwiów powstały liczne szczeliny równoległe do czoła osuwiska. Wykonane pomiary geodezyjne wskazują, że dyslokacje w części środkowej niszy wynosiły od niemal 1 m do 2,4 m w części czołowej formy. Część reperów położonych w części skrajnie czołowej osuwiska uległa zniszczeniu, tam też zmiany morfologii formy były największe. W efekcie ruchu

osuwiska w okresie od maja do czerwca 2010 r. przemieszczeniu uległy koluwia o szacowanej objętości 20 tys. m³, natomiast najsilniej rozczłonkowany fragment czoła o długości 10 i szerokości 50 m został całkowicie rozmyty przez rzekę.

CZYNNIKI BIERNE I AKTYWNE ODDZIAŁUJĄCE NA ZBOCZE DOLINY

Osuwisko we Wiągu jest przykładem formy o złożonej genezie, zmiennej dynamice i różnorodności ruchów masowych, od obejmującego całą formę zsuwu po niewielkie obrywy oraz fragmenty poddane procesowi spęływania. Do czynników pasywnych wpływających na powstanie osuwiska należy zaliczyć duże nachylenie stoków będące efektem lokalizacji względem koryta rzeki, gdzie wysoka energia płynącej wody szczególnie naraża brzegi na erozję i na bieżąco usuwa zdeponowane u podnóża stoku deluwia. Duże znaczenie ma również budowa geologiczna strefy krawędziowej, a szczególnie obecność utworów ilastych (ryc. 2). W górnej części zbocza tworzą one nieprzepuszczalną warstwę dla przypowierzchniowego poziomu wodonośnego rozwiniętego w piaskach i mułkach, co sprzyja występowaniu wypływów tych wód na zboczu.



Ryc. 2. Budowa geologiczna osuwiska wraz z przebiegiem przypuszczalnych powierzchni poślizgu.

Fig. 2. Landslide's geological structure with supposed slide boundary.

Prawdopodobnie taką też przyczynę ruchu miało pierwsze płytkie osuwisko, jakie powstało we Wiągu między 1961 a 1972 r.

Obserwowane bezpośrednio w ostatnich latach pojawianie się płytkich osuwisk o tej samej genezie, z płaszczyzną poślizgu położoną na głębokości 1,5-

2,5 m, na badanym odcinku strefy krawędziowej świadczy, że są to zjawiska typowe dla tego obszaru. W przypadku, gdy wysięki pojawiają się epizodycznie, ich efektem są niewielkie zsuwy, natomiast dłuższe wypływy wód na zboczu często prowadzą do nasiąkania koluwiów, zwiększenia ich masy, zmniejszenia kohezji i w konsekwencji powolnego procesu spełznięcia.

Jednak czynnikiem aktywnym, który najbardziej przyczynił się do powstania i rozwoju osuwiska we Wiągu, były znaczne wahania poziomu wody w Wiśle (ryc. 3) i powiązane z nimi zmiany zwierciadła wód podziemnych.



Ryc. 3. Epizody osuwiskowe we Wiągu na tle stanów wody Wisły.

Fig. 3. Landslides' events on the background of Vistula water levels.

Podstawą takich przypuszczeń jest analiza i porównanie zdarzeń hydrologicznych z kwietnia 1979 r., z momentem wystąpienia największych przemieszczeń na zboczu. Doszło wówczas do jednego z największych wezbrań na Wiśle w XX wieku. Było to typowe wezbranie roztopowe, które swoim zasięgiem objęło głównie północną część Polski. Największe rozmiary osiągnęło przede wszystkim w dorzeczu Narwi i dolnej Wisły. Roztopy były konsekwencją bardzo śnieżnej i długotrwałej zimy, nazywanej *zimą tysiąclecia*. Grubość pokrywy śnieżnej wynosiła od 70 do 150 cm. Maksymalne przepływy na rzekach osiągały skrajnie duże wartości. Dla przykładu objętość fali wezbraniowej Wisły w ujściowym odcinku stanowiła ponad 50% średniego rocznego odpływu z lat 1951-1990 (Stachy i in. 1996). Poziom wody na wodowskazie w Chełmnie położonym 10 km w górę rzeki od Wiągu, 31 marca 1979 r. osiągnął 814 cm, czyli o 5 m powyżej średniej z wielolecia. Stan powyżej średniej wysokiej wody z wielolecia utrzymywał się ponad dwa tygodnie. W trakcie kulminacji wezbrania zbocze we Wiągu zostało zalane do rzędnej 25,6 m n.p.m. Skutkiem tego znacznie

podwyższył się poziom wód gruntowych, mających kontakt hydrauliczny z Wisłą w obrębie dolnej partii zbocza zbudowanego z piasków i żwirów o dużej przepuszczalności. Od 2 kwietnia poziom wody w Wiśle zaczął opadać w tempie kilkunastu cm na dobę. 13 kwietnia doszło w badanym obszarze do powstania największego epizodu osuwiskowego.

Do porównywalnego zdarzenia, lecz w mniejszej skali, doszło w okresie wystąpienia wezbrania w 2010 r. Wówczas to maksymalny zanotowany poziom wody Wisły w Chełmnie wynosił 841 cm (w 1979 r. było 814 cm), zwierciadło wody w Wiągu osiągnęło poziom 25,9 m n.p.m. (w 1979 r. była to rzędna 25,6 m n.p.m.). W okresie pierwszych dni trwania wezbrania nie obserwowano wyraźnych przemieszczeń gruntu, doszło do nich dopiero w chwili opadania fali wezbraniowej między 3 a 5 czerwca, przy stanie wody wynoszącym około 630 cm. Dynamika spadku zwierciadła wody wynosiła 16-36 cm na dobę. Po spadku zwierciadła wody do poziomu stanów średnich wielkość przemieszczeń wyraźnie uległa zmniejszeniu, a od połowy lipca nie odnotowano już dalszego ruchu osuwiska.

Epizody osuwiskowe z 1979 i 2010 r. różnią częściowo cechy ośrodka gruntowego w którym doszło do wahania zwierciadła wód gruntowych. W pierwszym przypadku były to nie zaburzone warstwy piasków i żwirów. Natomiast w 2010 r. w części czołowej osuwiska na stropie przemieszczonych w 1979 r. ilów warwowych zalegała 6-8 m warstwa piasku. Silne uszczelnienie koluwiów ułatwiające przesiąkanie wody jeszcze bardziej ułatwia powstanie płaszczyzny poślizgu.

PRZYCZYNY POWSTANIA OSUWISKA

W przypadku nagłego obniżenia zwierciadła wód gruntowych w obrębie zbocza może dochodzić do zjawiska niebezpiecznego wzrostu ciśnienia porowego bądź ciśnienia wód spływowych (Wysokiński 2006). Przy ruchu wody w gruncie powstaje opór tarcia wody o cząstki gruntowe, zwiększając się wówczas siły zsuwające (Wiłun 2007). W praktyce geotechnicznej sytuacje podobne określane są jako przekroczenie stanu granicznego zbocza prowadzące do wyparcia hydraulicznego wywołanego przez ciśnienie spływowe spowodowane szybkim obniżaniem zwierciadła wody (Wysokiński 2006). Zagrożenia związane z nagłym spadkiem zwierciadła wód gruntowych ujmowane są przy tworzeniu instrukcji użytkowania sztucznych zbiorników wodnych, ostrzegając, że przekroczenie tempa obniżania zwierciadła wody większego niż 20-30 cm na dobę może sprzyjać uruchomieniu ruchów masowych. Zjawisko takie prawdopodobnie miało miejsce we Wiągu zarówno w 1979, jak i 2010 r., na co wskazuje korelacja przemieszczeń osuwiska z zaistniałą sytuacją hydrologiczną na

Wiśle (ryc. 3). Przed zdarzeniem osuwiskowym z 1979 r. prędkość opadania zwierciadła wody na rzece wynosiła od 14 do 21 cm/dobę, natomiast w 2010 r. w poprzedzających zdarzenie 7 dniach wynosiło średnio 25 cm na dobę. Warto zaznaczyć, że we Wiągu zwierciadło wody połączone hydraulicznie z Wisłą jest jednocześnie głównym poziomem wód gruntowych o szczególnie dużym zasileniu, a średnie spadki hydrauliczne w strefie krawędziowej wynoszą $I=0,005$ (5m/km) (Chmielowska 1997, Zambrzycka 2002), co może jeszcze bardziej intensyfikować proces szybkiego przepływu wody w gruncie.

Zmiany ciśnienia spływowego nie są jedynym czynnikiem, jaki mógł zadziałać na zbocze w trakcie trwania wezbrania, gdyż już samo podniesie się poziomu wody gruntowej powoduje zmiany w ośrodku gruntowym zmniejszające opór tarcia wewnętrznego i kohezji w gruncie (por. Wiłun 2007). Również zwiększona energia erozyjna rzeki z pewnością mogła przyczynić się do podcięcia brzegu oraz do wynoszenia nagromadzonych w poprzednich latach koluwiów i deluwiów stanowiących naturalną podpore/przypore osuwiska. Podobne procesy erozji obserwowane były w latach 2007-2010 na pozostałych fragmentach badanego brzegu Wisły, gdzie po znaczących wezbraniach tworzyły się nisze erozyjne, których wielkość z reguły nie przekraczała 20 m².

WNIOSKI

Do powstania osuwisk dochodzi na skutek niekorzystnych zmian równowagi sił w gruncie spowodowanych jednoczesnym wystąpieniem czynników biernych i aktywnych. Przy sprzyjających czynnikach biernych, takich jak budowa geologiczna, nachylenie terenu, czy ekspozycja do powstania osuwisk prowadzi jeden bądź więcej czynników aktywnych i to je można określić jako bezpośrednią przyczynę przemieszczeń gruntu (Zabuski i.in. 1999).

Osuwisko we Wiągu jest przykładem formy, na której powstanie złożył się zespół czynników biernych i aktywnych o różnej randze. Dokładna analiza morfologii terenu połączona z rozpoznaniem budowy geologicznej, znajomością momentu wystąpienia najważniejszych etapów rozwoju osuwiska, przedstawioną w świetle zaistniałych zjawisk hydrologicznych zachodzących na Wiśle, stała się podstawą do wysunięcia wniosków na temat możliwych przyczyn jego powstania.

Czynniki lokalne umożliwiły powstanie pierwszego płytkiego osuwiska, które zapoczątkowało zmiany morfologii stoku. W dalszej kolejności na zachwianie równowagi na zboczu wpłynęły efekty ekstremalnych zjawisk pogodowych prowadzące do powstania dużych wezbrań na Wiśle w okolicach Wiągu, zarówno w 1979, jak i 2010 r. Nagłe zmiany poziomu wody Wisły i połączonych z nią wód gruntowych w obrębie zbocza doliny doprowadziły do powstania jednego

z największych i najciekawszych osuwisk w Dolinie Dolnej Wisły, stanowiąc bezpośrednią przyczynę powstania osuwiska. Aktualnie osuwisko to jest w fazie stabilizacji. Jednak jego dalszy rozwój jest niemal pewny, za czym przemawia ciągła erozja okolicznych brzegów, jak i czoła osuwiska.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy N N306 086037.

Literatura

- Banach M., 1998, Dynamika brzegów dolnej Wisły, Dokumentacja Geograficzna 9, IGiPZ PAN, Wrocław.
- Chmielowska U., 1997, Mapa hydrogeologiczna Polski, Arkusz Rudnik (244), 1:50 000, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Habel M., Tyszkowski S., Skowroński T., 2008, Morphodynamic analysis of lower Vistula valley using GPS, sonar and aerial photography, *Annals of geomatics* 6, 1, 91-100.
- Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych z lat 1971-1983, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Kühn A., Miłoszowska W., 1971, Katalog osuwisk – województwo bydgoskie, Instytut Geologiczny, Zakład Geologii Inżynierskiej, Warszawa 1971.
- Ostaficzuk S., 1998, Tło neotektoniczne Skarpy Płockiej, Przemieszczenia Skarpy Płockiej, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 81-94.
- Stachy J., Fal B., Dobrzyńska I., Hołdakowska J., 1996, Wezbrania rzek polskich w latach 1951-1990, cz. I, *Gospodarka Wodna* 9, 261-268.
- Tyszkowski S., 2008, Badania rozwoju osuwisk w rejonie Świecia, na podstawie materiałów fotogrametrycznych, *Landform Analysis* 9, 385-389.
- Wiłun Z., 2007, Zarys geotechniki, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Wysokiński L., 2006, Ocena stateczności skarp i zboczy, ITB, Warszawa.
- Zabuski L., Thiel K., Bober L., 1999, Osuwiska we fliszu Karpat polskich, IBW PAN, Gdańsk.
- Zambrzycka M., 2002, Mapa hydrogeologiczna Polski, Arkusz Chełmno (243), 1:50 000, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.