

Anna Świątek (ania.swiatek4@wp.pl) *

Krzysztof Indelak (k.indelak@gmail.com) **

Dariusz Mikołajczyk (dariusz.mikolajczyk@tlen.pl) *

* *Studenckie Koło Naukowe Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków, Polska*

** *Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków, Polska*

Wykorzystanie Indeksowej Metody Statystycznej w wyznaczaniu obszarów zagrożonych ruchami masowymi

Application of Landslide Index Method in determining areas at risk of mass movements

STRESZCZENIE

W Karpatach osuwiska są jednym z najgroźniejszych procesów zagrażających mieszkańcom. Powstawanie osuwisk uwarunkowane jest przede wszystkim budową geologiczną i tektoniką, które warunkują typy rzeźby. Powszechność tego zagrożenia wymaga szczegółowych badań w skali regionalnej jak i lokalnej. Ważnym zagadnieniem, w kontekście minimalizowania strat społeczno-ekonomicznych na terenach objętych zagrożeniem osuwiskami, jest wypracowanie metody, która określałaby ryzyko osuwiskowości. Jedną z metod jest opracowywanie map podatności terenu na osuwanie. Niniejsze opracowanie prezentuje metodykę sporządzania map podatności na osuwanie dla małej zlewni jako obszaru testowego. Analiza map czynników aktywnych i pasywnych oraz finalnej mapy podatności terenu na osuwanie, wykonano Indeksową Metodą Statystyczną (*ang. Landslide Index Method*), opracowaną przez C.J Van Westena. Metoda ta pozwala na wyciągnięcie wniosków na temat stabilności stoków. Aplikacyjny charakter wykorzystanej metody oraz przewaga zalet nad wadami w warunkach Karpackich jest przesłanką do jej szerszego wykorzystania i korelowania z wynikami innym badań.

ABSTRACT

Landslides are one of the most dangerous processes threatening the residents of the Carpathians. Landslides are mainly conditioned by the geology and tectonics, which determine the types of relief. Significant spreading of this threat effects in detailed studies on a regional or local scale. An important issue in the context of minimizing the loss of social - economic areas under threat of landslides is to develop a method that would identify the risk of mass movements. One of the methods involves mapping the susceptibility of land to subsidence. This study presents a methodology for the preparation of maps of susceptibility to landslides for a small. Analysis of maps of active and passive factors, and the final susceptibility maps for land subsidence, made of Landslide Index Method, developed by CJ Van Westen. This method allows to draw conclusions about the stability of slopes. This brief attempt to apply the method is a prerequisite for its wider use and correlating the results of other studies .

słowa kluczowe: osuwiska, ruchy masowe, Karpaty, indeksowa metoda statystyczna, metoda podatności na osuwanie według Van Westena

key words: landslides, mass movements in Carpathians, Landslide Index Method, Van Vasten method of landslides susceptibility

WSTĘP

W 2010 roku, w wyniku silnych opadów, w wielu regionach południowej Polski nasiliły się ruchy masowe, szczególnie osuwiska. Oprócz zmian w krajobrazie, osuwiska spowodowały ogromne straty w infrastrukturze oraz mieszkalnictwie. Na skutek tych wydarzeń wielu mieszkańców poniosło znaczne straty materialne a gminy do dzisiaj odczuwają skutki tych wydarzeń.

Występowanie osuwisk w Karpatach jest procesem powszechnym. Przyjmuje się, że 95% osuwisk występujących na terenie Polski znajduje się na obszarze polskich Karpat fliszowych. Według danych z Systemu osłony przeciwosuwiskowej (SOPO), liczba osuwisk w tej części Polski wynosi ok. 50000-60000, a na 1 km² powierzchni Karpat przypadają średnio 2-3 osuwiska. Ponadto badania prowadzone w mikro skali lub zlewniach małych potoków Karpackich wskazują na 30% do 70% udział powierzchni stoków zajmowanych przez osuwiska (Poprawa i Rączkowski, 2003).

Na podstawie dostępnych informacji można stwierdzić, iż Karpaty fliszowe są górami szczególnie podatnymi na ruchy osuwiskowe. Szczególne znaczenie ma tutaj budowa geologiczna oraz typ rzeźby. Kompleks skał fliszowych w połączeniu z głęboko wciętymi dolinami oraz znacznymi nachyleniami terenu, powoduje wzmożoną aktywność osuwisk. Nie bez znaczenia jest również tektonika obszaru (bieg i upad warstw, dyslokacje tektoniczne, strefy uskokowe), która predysponuje podatność na osuwanie (Długosz, 2011).

W literaturze istnieje wiele klasyfikacji ruchów masowych, co komplikuje charakterystykę oraz opis tych procesów. W literaturze polskiej możemy spotkać się z systematyką Kleczkowsiego (1955), Klimaszewskiego (1978), czy bardziej współczesną Migonia (2006). Nie brak także opracowań obcojęzycznych, które dostosowują terminologię do lokalnych uwarunkowań. Najczęstszym problemem pojawiającym się w kontekście ruchów masowych jest różne nazewnictwo tych samych form przez różnych autorów oraz towarzyszące im niekiedy błędne tłumaczenie. Spośród wielu dostępnych klasyfikacji w niniejszej pracy wykorzystano podział opisany przez D.J. Varnesa (1978). Obejmuje ona 6 podstawowych wydzieleń takich jak: obrywy, obwały, poślizgi (zsuwy), rozsypy boczne, spływy oraz ruchy złożone (Długosz, 2011).

Osuwiskiem nazywamy rodzaj ruchów masowych, który charakteryzuje się wyraźnym poślizgiem masy górotworu wzdłuż określonej strefy osłabienia określanej jako powierzchnia poślizgu. Podstawowym kryterium klasyfikacji osuwisk jest geometryczny charakter powierzchni ścięcia. Zgodnie z tym podziałem, wyróżniamy osuwiska translacyjne (ześlizgowe) o planarnych powierzchniach ścięcia (na ogół równoległe do stoku), oraz osuwiska rotacyjne (obrotowe), gdzie powierzchnia ścięcia ma charakter cykloidalny, zakrzywiony. W tym miejscu warto wspomnieć, iż w polskich Karpatach najbardziej powszechna jest klasyfikacja osuwisk ze względu na stosunek powierzchni poślizgu do struktury podłoża. Osuwisko składa się z trzech podstawowych elementów: niszy osuwiskowej, rynny oraz jęzora (Migoń, 2006).

Charakteryzując osuwiska, należy również wspomnieć o czynnikach które wywołują ten proces – wpływają one na podatność na osuwanie. Dzielimy je na czynne

(opady atmosferyczne, podcięcia i obciążenia zbocza) oraz pasywne (litologia, morfologia, tektonika, pokrycie terenu) (Długosz, 2011).

Pierwszym etapem budowy mapy podatności na osuwanie jest identyfikacją form już obecnych w terenie. Lokalizacja istniejących już osuwisk bywa często najtrudniejszym elementem opracowywania mapy. Osuwiska mogą często być mylone z innymi elementami rzeźby terenu np. skarpami rolniczymi czy starymi wykrotami leśnymi. Szczególnie trudnym zadaniem bywa identyfikacja skarp osuwiskowych na terenach leśnych lub strefach zabudowanych, gdzie obserwowany może być tylko fragment skarpy (Wojciechowski i in., 2012).

CEL

Głównym celem badań było opracowanie mapy podatności na osuwanie z wykorzystaniem modelu statystycznego i technik GIS. Oprócz tego do celów szczegółowych należą:

- wyznaczenie terenów najbardziej podatnych na ruchy osuwiskowe i przedstawienie ich przestrzennego zróżnicowania;
- przedstawienie uwarunkowań rozwoju osuwisk w Karpatach fliszowych;
- ocena przydatności Indeksowej Metody Statystycznej w zakresie badań geografii fizycznej.

Celem badań było również uświadomienie zagrożenia jakie powodują osuwiska, szczególnie na obszarach o znacznej aktywności ruchów masowych. Należy pamiętać, iż według ustawy „Prawo Ochrony Środowiska” z dnia 27 kwietnia 2001 roku, obszary te powinny być regularnie monitorowane.

Badania osuwisk w literaturze nie są niczym nowym. Przykład wydarzeń z 2010 roku świadczy o konieczności prowadzenia dalszych analiz osuwisk oraz rozpoznawania potencjalnych terenów, gdzie osuwiska nieaktywne mogą się uaktywnić. Reaktywowane formy osuwiskowe mogą stanowić poważny problem dla ludności jak również przynieść ogromne straty materialne. Nie można również zapominać, że osuwiska mogą oprócz wymienionych powyżej strat spowodować zagrożenie zdrowia i życia ludzi.

Niniejsze opracowanie, jak również badania, zostały przeprowadzone w ramach praktycznego realizowania celów Letniej Szkoły Geoinformacji GeoGorce 2012, organizowanej przez Laboratorium Geomatyki UR w Krakowie (Świątek, 2012). Badania prowadzone w ramach LSG GeoGorce, przeprowadzono w dniach od 26 sierpnia do 1 września 2012 roku.

METODYKA I MATERIAŁY

Badania obszarów zagrożonymi ruchami masowymi wymagają dobrania odpowiednich metod badań oraz zaplanowania poszczególnych etapów prac. Dla badanego obszaru zlewni Potoku Zasadne przyjęto dwa etapy realizacji badań, optymalizując zasięg czasowy i terytorialny do czasu przewidzianego na zadanie. Pierwszym były prace terenowe poprzedzone kwerendą mapy topograficznej oraz mapy udokumentowanych osuwisk w skali 1: 10000, opracowanej w ramach projektu SOPO. Zakres kartowania terenowego obejmował rejestrację z weryfikacją form oraz

zasięg osuwisk, zinwentaryzowanych przez Państwowy Instytut Geologiczny. Zebrano również informacje wg. raptularza System Osłony Przeciw Osuwiskowej (SOPO), zapewniającego jednolite zasady i standard opracowania informacji o osuwiskach terenach zagrożonych osuwaniem.

W trakcie badań terenowych przeprowadzono wywiady z mieszkańcami badanego terenu. Dane pozyskane tą drogą, ograniczały się do informacji o zaobserwowanych świadectwach niestabilności gruntu. Sprawdzano także świadomość mieszkańców dotyczącą możliwych zagrożeń i ograniczeń związanych z niestabilnością gruntów. Ponadto podczas inwentaryzacji terenowej odnaleziono miejsca, świadczące o aktywności osuwiskowej badanego obszaru. Były to niewielkich rozmiarów zsuwy ziemne czy obrywy materiału żwirowego ze stoków w sąsiedztwie potoku i deponowanie go u podnóży skarp (Ryc. 1). W czasie badań, po krótkim epizodzie opadowym, na jednym z stoków wystąpił świeży płytki zsuw ziemi ze zbocza terasy użytkowanej rolniczo.



Ryc. 1. A - Powolne zsuwanie ze skarpy drobnego materiału; B - Osuwanie skarpy po opadach deszczu; C - Pełzanie gruntu i odkrywka fliszu.

Fig. 1. A - slow sliding down slope of fine material; B - Subsidence slope after rainfall; C - Creep soil and outcrop flysch.

Fot. a- K. Indelak, 2012, b- A. Świątek, 2012, c- D. Mikołajczyk, 2012

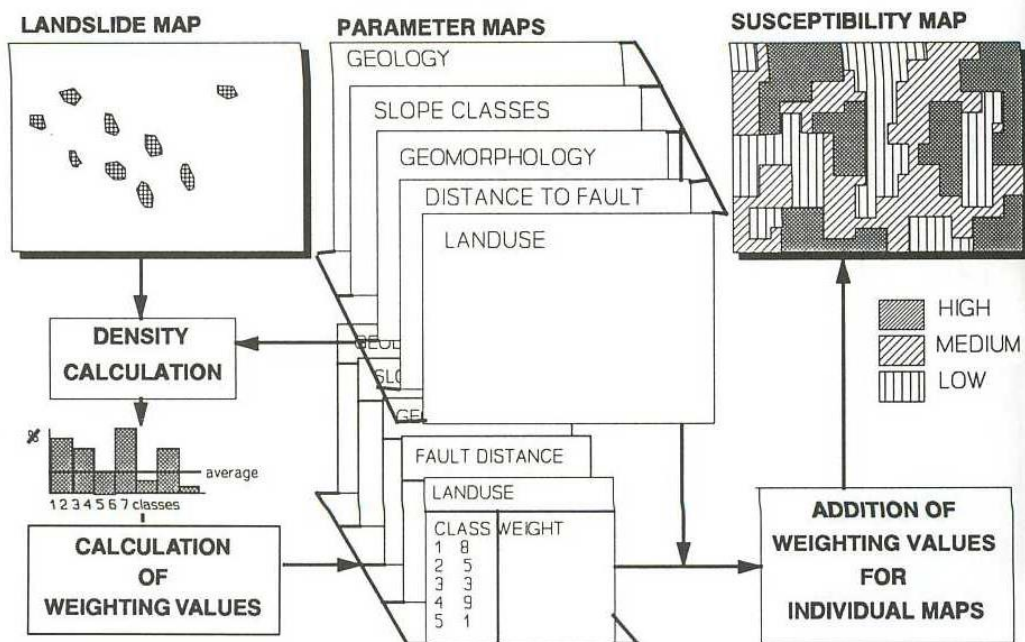
Technicznym rozwiązaniem i matematyczną reprezentacją wyników badań było wykorzystanie Indeksowej Metody Statystycznej (*and. Landslide Index Method*) do wyznaczania obszarów zagrożonych ruchami masowymi (Van Westen, 1994). Metoda ta opracowana przez Ceesa van Westena na Uniwersytecie w Amsterdamie, polega na krzyżowaniu map osuwisk z mapami wybranych czynników mających wpływ na osuwanie terenu. W dalszej kolejności obliczenie wag i gęstości osuwiskowej dla poszczególnych klas zwartych w krzyżowanych mapach tematycznych oraz wskazanie ich relacji do określonej gęstości osuwiskowości na terenie badanej zlewni. Zamieszczone niżej równanie wyjaśnia jakie elementy brane są pod uwagę podczas obliczania wag dla klas wygenerowanych map tematycznych:

$$\ln W_i = \ln \left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{\text{Npix}(S_i)}{\text{Npix}(N_i)}}{\sum \text{Npix}(S_i)}}{\sum \text{Npix}(N_i)} \right)$$

W_1 – waga ustalona dla pewnej klasy parametru
Densclas – gęstość osuwisk w klasie parametru
Densmap – gęstość osuwisk dla obszaru całej mapy
Npix(S_i) – liczba pikseli zajęta przez osuwisko w pewnej klasie parametru
Npix(N_i) – łączna liczba pikseli pewnej klasy parametru

Współczynnik W_i dzięki logarytmowi naturalnemu, przyjmuje wartości ujemne dla mniejszej gęstości osuwiskowej oraz analogicznie dodatnie, dla większej od średniej osuwiskowości obliczonej dla obszaru badań. Następnie każda z map prezentująca czynniki osuwiskowe jest przetransformowana na mapy wagowe współczynnika W_i . Po zsumowaniu otrzymuje się mapę podatności na osuwanie.

Indeksowa Metoda Statystyczna wykorzystuje szereg danych wejściowych, które są opracowywane na podstawie mapy topograficznej 1:10000, DEMu oraz mapy geologicznej (w tym przypadku w skali 1:50000). Czynnościami towarzyszącymi obróbce danych jest w pierwszej kolejności łączenie (mozaikowanie) sąsiadujących arkuszy map topograficznych i ortofotomap, wytyczenie topograficznej granicy zlewni, nadanie georeferencji skanom map w postaci analogowej, wektoryzacja danych wejściowych (w tym zasięgu osuwisk). Bazą do analiz topograficznych był utworzony dla obszaru zlewni numeryczny model terenu o rozdzielczości 10 m. Został on zbudowany na podstawie zwektoryzowanych poziomicy o cięciu 2,5 m. W dalszej kolejności, do opracowania mapy podatności terenu na osuwanie posłużyły wygenerowane mapy wtórnych atrybutów topograficznych tj. nachylenia i ekspozycji. W ostatnim etapie realizowano schemat opracowany przez Westena, polegający na łączeniu tabeli atrybutów poszczególnych map. Szczegółowy zakres postępowania wyjaśniający poszczególne kroki i zastosowane algorytmy, zaimplementowane do programu Ilwis, prezentuje niżej zamieszczona rycina (Ryc. 2.).



Ryc. 2. Schemat tworzenia mapy podatności na osuwanie metodą indeksową w programie Ilwis

Fig. 2. Schematic mapping of susceptibility to landslides using the landslide index method, applied to the ILWIS program

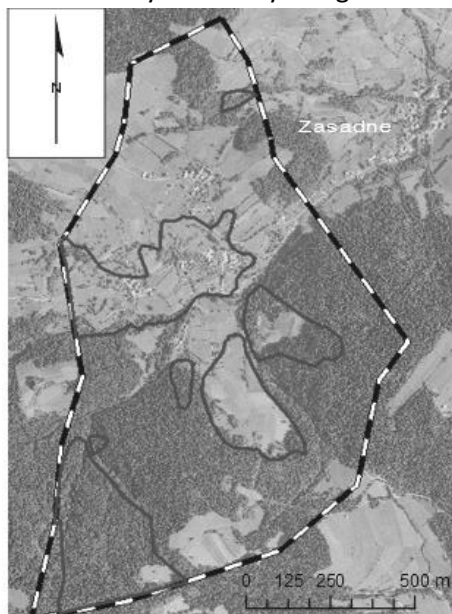
źródło/source: http://www.ccma.vic.gov.au/soilhealth/resource/images/maps/mapping_process_bivariate.jpg

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Teren badań obejmował fragment obszaru Gorców. Pasma Gorców zbudowane jest z utworów fliszowych reprezentujących płaszczynę magurską – piaskowców, zlepieńców i łupków. Dominujący kompleks stanowią gruboławicowe warstwy piaskowców osadzone w paleocenie i eocenie o miąższości ponad 2000 m. Znajomość budowy geologicznej i litologii terenu jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na efekt końcowy opracowania. Gorczański klimat ma typowo górski charakter z wyraźnie wyodrębnionymi trzema piętrami klimatycznymi: umiarkowanie ciepłym – do wysokości 600 m n.p.m., umiarkowanie chłodnym – do 1100 m., powyżej – piętrzem chłodnym. Roczne sumy opadów, u podnóży wynoszą 800–900 mm/rok, a w najwyższych położeniach dochodzą do 1200–1240 mm/rok (<http://gorczanski-park.pl/>). Gorce są silnie zalesione. Występuje tu zarówno piętro regla dolnego z jodłą i bukiem, jak również regla górnego ze świerkiem. Gorce charakteryzują się dobrze rozwiniętą siecią wodną, na którą składają się liczne potoki.

Fragment obszaru Gorców, którego dotyczy opracowanie, znajduje się w miejscowości Zasadne, w dolinie Zasadnego Potoku. Jest to miejscowość granicząca z Gorczańskim Parkiem Narodowym, położona w wąskiej dolinie w której zlokalizowana jest większość zabudowy. Zabudowa mieszkalna i gospodarska występuje również na okolicznych stokach i zboczach, m.in. na fragmencie nieaktywnego osuwiska zlokalizowanego w środkowej części zlewni.

Powierzchnia zlewni Potoku Zasadne wynosi 16,5 km². Zinwentaryzowano tam 7 osuwisk o łącznej powierzchni 4,67 km². Osuwiska charakteryzowały się różnym zasięgiem występowania (powierzchnią), typem pokrycia oraz stopniem aktywności. Obliczony wskaźnik osuwiskowości ($O = \frac{\text{łączna powierzchnia osuwisk zlewni potoku Zasadny}}{\text{powierzchnia całej zlewni}} \cdot 100\%$) wyniósł na omawianym fragmencie Gorców 28,3%. Wynik ten jest wysoki i świadczy o dużej roli osuwisk w transformowaniu rzeźby w badanym regionie.

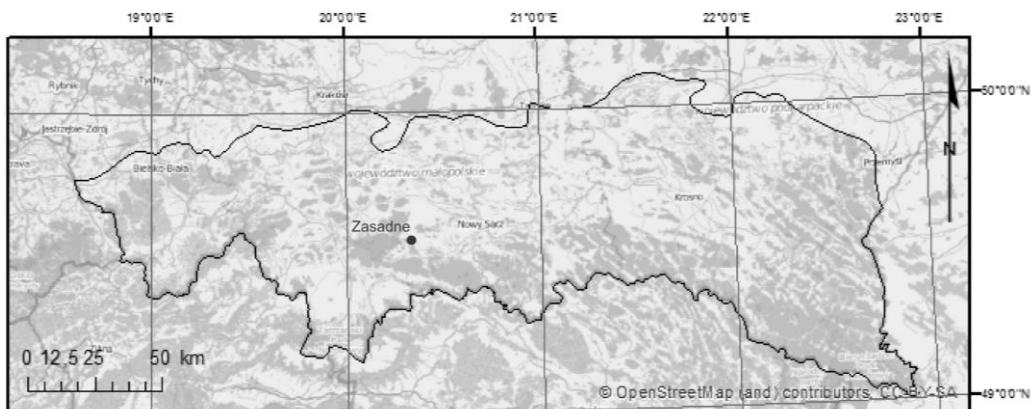


Ryc. 3. Obszar badań.

Fig. 3. The study area.

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration



Ryc. 4. Obszar badań na tle Karpat.

Fig. 4. Study area on the background of the Carpathians.

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration

Na badanym terenie dominują osuwiska nieaktywne (przykład Ryc. 5.). Charakteryzują się one występowaniem starych i ustabilizowanych form. W ich obrębie nie obserwuje się aktywności na przestrzeni co najmniej 50 lat, lecz mogą przy udziale czynników wpływających na rozwój osuwisk, obszary te uaktywnić się w przyszłości. Poniższa rycina przedstawia widok na zinwentaryzowane osuwisko w centralnej części terenu badań, którego skarpy- zarówno główna, jak i wtórna występują na terenie zalesionym (Ryc. 5).

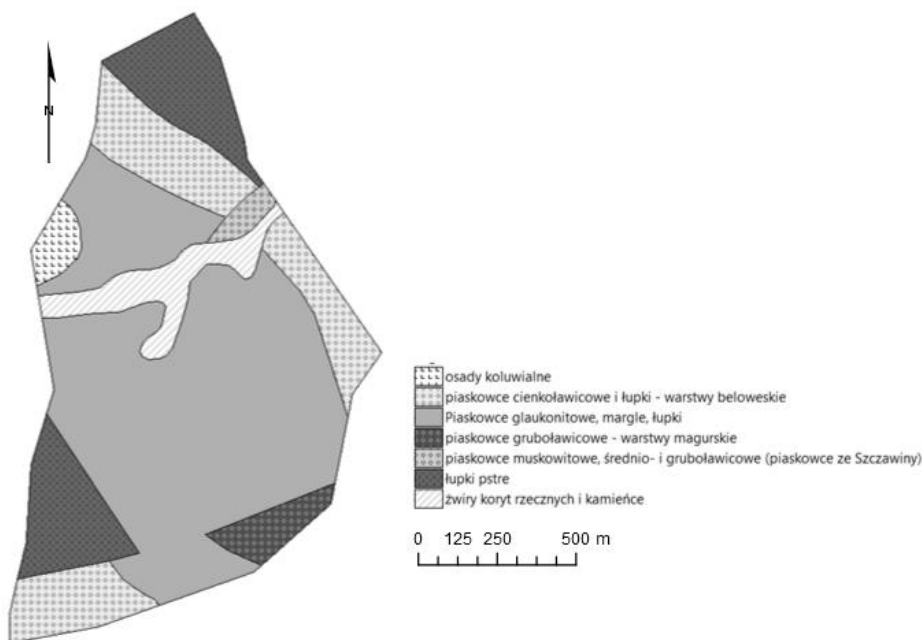


Ryc. 5. Stare, rozległe osuwisko w zlewni potoku Zasadny.

Fig. 5. Old, extensive landslide in catchment Zasadne stream.

Fot. K. Indelak, 2012

Na potrzeby opracowania finalnej mapy, dotyczącej podatności obszaru na osuwanie, stworzono warstwy tematyczne służące do przeprowadzenia dalszej analizy topografii i podłoża zlewni. Ich zakres dotyczył: litologii, nachylenia terenu oraz ekspozycji. Dobór map tematycznych nie był przypadkowa, gdyż prezentowane zagadnienia są najważniejszymi czynnikami biernymi (pasywnymi), które mają wpływ na rozwój osuwisk na danym obszarze. Materiały te sporządzono na bazie wygenerowanego modelu DEM.



Ryc. 6. Budowa geologiczna obszaru badań.

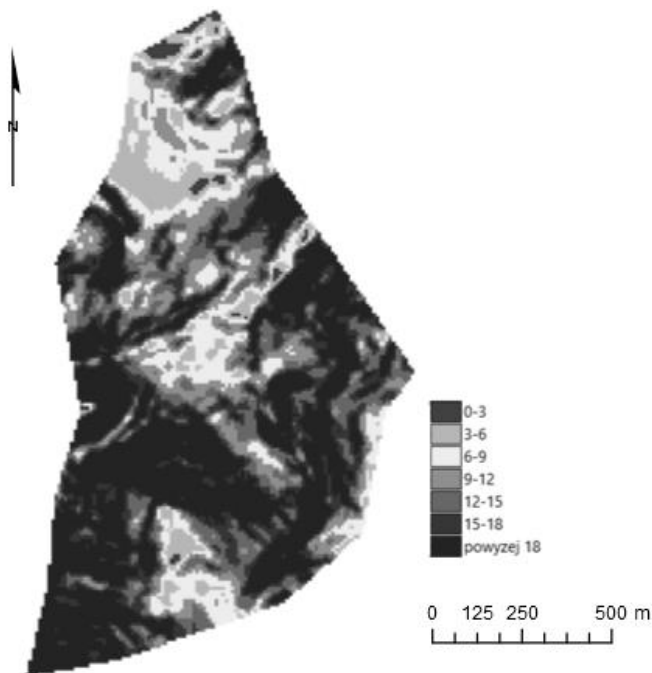
Fig. 6. Geology of the study area.

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration

Pierwszym czynnikiem pasywnym włączonym do analizy była litologia. Warstwa ta (Ryc. 6.) została sporządzona w oparciu o arkusz mapy geologicznej Mszana Górna w skali 1:50 000. Pozyskane dane zestawiono w formie wektorów oraz poligonów, po czym sprowadzono je do postaci rastrowej. Omawiany obszar zbudowany jest w większości z piaskowców oraz łupków. Naprzemianległe pakiety łupkowo-piaskowcowe sprzyjają powstawaniu osuwisk z uwagi na swoje właściwości przepuszczalności. Widać wyraźnie na zamieszczonej rycinie, iż praktyczny cały badany obszar składa się z utworów sprzyjających osuwiskom. Północna część zlewni wyróżnia się znacznym zróżnicowaniem występowania utworów geologicznych, takich jak łupki pstre, piaskowce cienkoławicowe z łupkami- warstwami beloweskimi oraz piaskowcami muskowitzowymi. Dodatkowo w strefie koryta potoku Zasadny występują żwiry koryt rzecznych i kamieńce oraz na zachód fragment osadów koluwalnych. Dominującą warstwą utworów dla znacznej części centralnej zlewni zajmują piaskowce glaukonitowe, margle i łupki. Południowa część zlewni obejmuje utwory piaskowcami

muskowitowymi, łupków pstrych oraz piaskowców gruboławicowych. Bardzo wrażliwymi obszarami dla badanego problemu podatności na osuwanie są strefy kontaktu utworów geologicznych. W wykorzystaniu metody indeksowej istnieje możliwość włączenia do analizy stref uskoków jako kolejnej warstwy tematycznej dla której oblicza się wagi. Takie podejście zastosowali m in. Westen (1994) oraz Kamiński (2012).



Ryc. 7. Mapa nachyleń w terenie badań w stopniach.

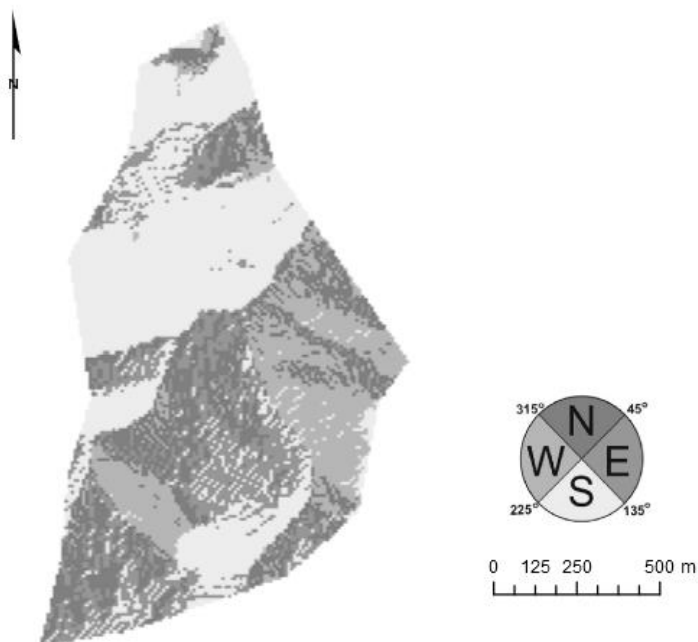
Fig. 7. Slope of the study area.

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration

Kolejny analizowany czynnik to nachylenie terenu, określane na wygenerowanej mapie jako zmiana wysokości przypadająca na jednostkę długości w kierunku największego spadku (Ryc. 7.). Mapę nachyleń stworzono po przefiltrowaniu DEMu, wykorzystując dwa filtry liniowe. Nachylenie powierzchni terenu, wyrażone w stopniach, dostarcza informacji o rzeźbie terenu. Otrzymane wartości nachylenia zreklasyfikowano do siedmiu klas- przedziałów wartości nachyleń. Z analizy zamieszczonej ryciny wynika, że blisko 60% powierzchni terenu obejmują stoki o nachyleniu od 9 do 18 stopni, predysponowane do ruchów masowych. W literaturze dla polskich Karpat wartościami nachylenia, która predysponuje obszar do osuwania są dwa przedziały: 9-14 stopni oraz 15-25 stopni (Długosz, 2011). W środkowej i południowej części zlewni wyraźnie zaznaczają się obszary o nachyleniu powyżej 18 stopni, stanowiące maksymalne wartości nachylenia osiągnięte dla terenu badań. Dodatkowo miejsca o największych nachyleniach pokrywają się z występowaniem nisz osuwiskowych. Warto zwrócić uwagę na trzy obszar zlewni, gdzie wartości nachyleń nie przekraczają 6 stopni. Są to: niewielki fragment północnej części zlewni,

centralna część obejmująca fragment doliny potoku i miejscowości Zasadne oraz na południu niewielki obszar łąk i pastwisk w otoczeniu lasu.



Ryc. 8. Mapa ekspozycji terenu badań.

Fig. 8. Aspect of a study area.

źródło: opracowanie własne.

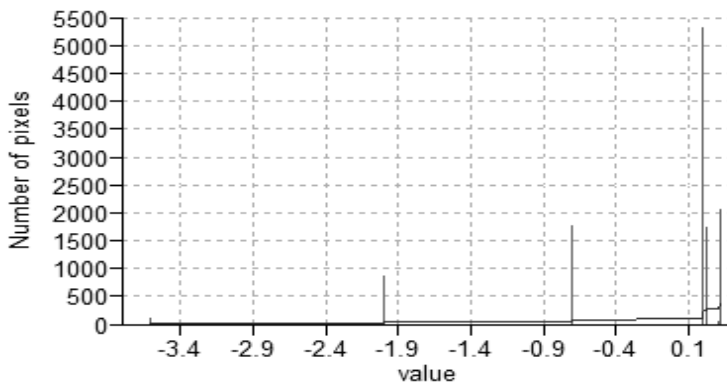
source: own elaboration

Ostatnim, trzecim czynnikiem stanowiącym składową mapy podatności na terenu na osuwanie jest mapę ekspozycji (kierunków nachylenia), stworzona na bazie DEM. Ekspozycja obrazuje kierunek nachylenia stoku, który sprecyzowany jest przez jego azymut (Urbański, 2008). Na mapie ekspozycji badanej zlewni (Ryc. 8) widoczny jest podział na 4 główne kierunki świata. Dominującą ekspozycją dla stoków jest kierunek południowy, wyraźnie odznaczający się dla się w północnej części zlewni. Następnie spory udział zajmuje ekspozycja północna, typowa dla stoków południowego fragmentu zlewni. Prawidłowością jest, że osuwiska najczęściej tworzą się na zboczach północnych (Wojciechowski, 2008). Omawiany obszar w większości obejmuje stoki o ekspozycji południowej oraz zachodniej, co nie wpisuje się w „podręcznikowy” schemat: stoki o nachyleniu północnym = większa podatność na osuwanie.

PODATNOŚĆ TERENU NA OSUWANIE W BADANEJ ZLEWNI

Wyniki zsumowanych wag czynników osuwiskowych dla zlewni potoku Zasadny poddano reklasyfikacji na 5 klas o zróżnicowanym stopniu podatności na osuwanie. Zakres wartości osiągnięty dla terenu badań na mapie podatności na osuwanie wynosi od -3.1 do 0.3 (Ryc. 10). Analizując histogram prezentujący liczbę komórek rastrowych mapy wynikowej, przypadających na daną wartość wskaźnika

podatności na osuwanie, można wskazać udział wydzielonych przedziałów. W ujęciu statystycznym, największą liczebnością pod względem zajmowanej powierzchni, zajmują tereny powyżej wartości wskaźnika 0.1. Są to tereny o bardzo dużej podatności na osuwanie. Znaczny udział powierzchni zlewni zajmują tereny o wskaźniku w granicach -1.9 - 0.3 zakwalifikowane jako „obszary bardzo i średnio podatne na osuwanie”.

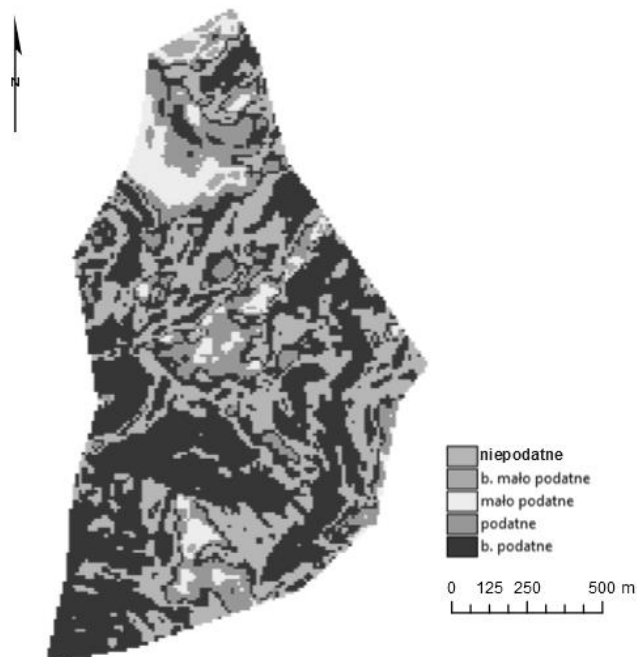


Ryc. 9. Histogram współczynnika podatności na osuwanie

Fig. 9. Histogram of the coefficient of susceptibility to landslides

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration



Ryc. 10. Mapa podatności terenu na osuwanie wykonana Indeksową Metodą Statystyczną dla zlewni potoku Zasadny.

Fig. 10. Map of susceptibility to subsidence of land made of Landslide Index Method for the catchment Zasadny stream.

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration

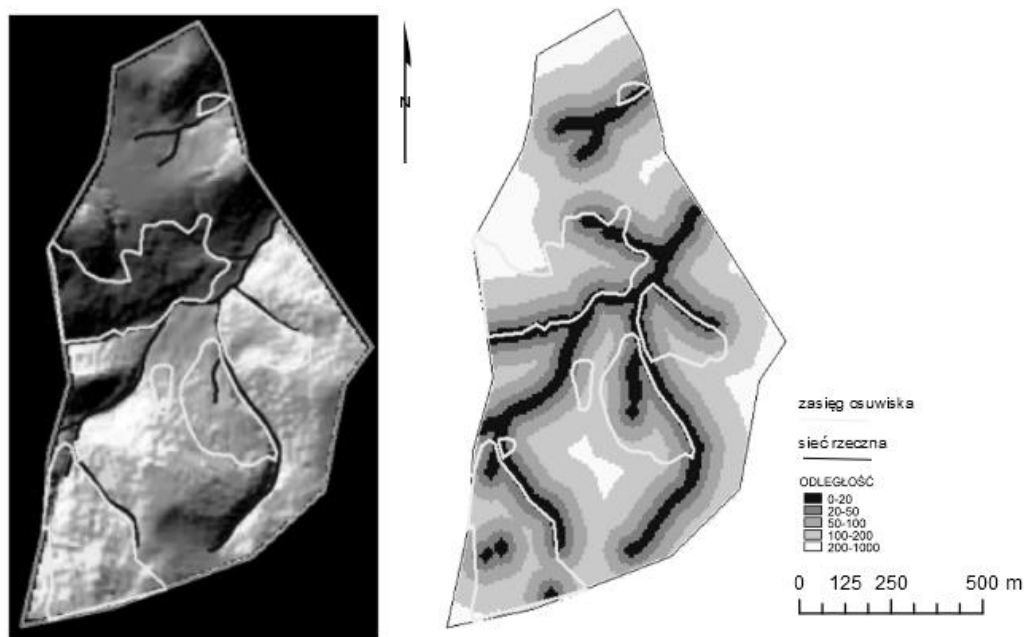
Śledząc przestrzenne zróżnicowanie wyniku podatności terenu na osuwanie, obliczonego metodą Westena, można wykazać kilka regionalnych prawidłowości (Ryc. 10). Środkowa i południowa część zlewni wykazuje większą podatność terenu na osuwanie, oznaczającą możliwość wystąpienia ruchów masowych z uwagi na istniejące warunki środowiskowe (tj. czynniki pasywne). Większość badanego obszaru zajmują stoki o nachyleniu 9-18 stopni, które predysponuje grunt do osuwania. Dodatkowo, spory odsetek terenu południowej części zlewni jest zalesiony z licznymi dolinami wciosowymi, gdzie postępuje proces erozji i modelowania stoków. Ponadto występujący na obszarze badań układ warstw skalnych z dominującym udziałem piaskowców oraz łupków w północnej i północno zachodniej części zlewni sprzyja powstawaniu osuwisk. Występują tu strefy poślizgu, tworzące się na granicach litologicznych pomiędzy utworami czwartorzędowymi i fliszem. Uwarunkowania te powodują niejednokrotnie nie tylko tworzenie się osuwisk ale niekiedy reaktywują dawne, nieaktywne osuwiska (Kamiński, 2012).

Obszary charakteryzujące się brakiem występowania zagrożenia niestabilnością gruntu to wąskie fragmenty zlewni o niewielkich deniwelacjach oraz małym spadku, rozmieszczone na niewielkich fragmentach całego terenu badań. Największa współzależność pomiędzy terenem niepodatnym na osuwanie zaistniała z obliczoną wagą ekspozycji południowej, która niejako hamuje rozwój i ogranicza powstawanie osuwisk na tych obszarach. Dodatkowo najbardziej znaczący udział spośród utworów geologicznych mają tu piaskowce gruboławicowe. W granicach zlewni cztery obszary charakteryzuje niewielki stopień podatności na osuwanie ujęty w klasach „bardzo mało podatne” oraz „mało podatne”, do których zaliczyć należy cztery obszary. W przypadku określenia niskiego stopnia podatności na osuwanie duży wpływ ma niewielki stopień nachylenia tj. do 6 stopni, którego zakres występowania wartości pokrywa się z granicą obszarów mało podatnych. Omawiane fragmenty w północnej części zlewni obejmują tereny nieużytkowane oraz w kierunku południowym jeden z przysiółków wsi Zasadne. Obszar w centralnej części zlewni obejmuje teren wylesiony, otoczony z trzech stron zasięgiem występowania starych form osuwiskowych. Największą wagę z obliczanych wskaźników w metodzie indeksowej ma w charakteryzowanych obszarach warstwa geologii, w której dominują piaskowce gruboławicowe, margle oraz łupki. Pozostałe dwa obszary mało podatne na osuwanie to miejsca wylesione w południowej i południowo-wschodniej części zlewni. Kolejne wydzielenie, określone jako tereny „podatne”, dotyczy terenów sąsiadujących z wyżej omawianymi terenami „mało podatnymi” stanowiąc mozaikę, na powstanie której mają wpływ styki warstw utworów geologicznych. Ostatnia klasa, dominująca pod względem zajmowanej powierzchni, stanowi tereny „bardzo podatne” na osuwanie. Występują one na terenie całej zlewni, koncentrując się w większe fragmenty o cechach: nachylenia terenu 9-18 stopni i więcej, na przemian ległymi warstwami piaskowców i łupków oraz licznymi strefami uskoków oraz występowaniem starych, rozległych form osuwiskowych. Wagi analizowanych czynników pasywnych dla tych obszarów osiągają tu największe wartości.

Na podstawie wygenerowanej mapy podatności na osuwanie zlewni potoku Zasadne można wytypować kilka rejonów szczególnie predysponowanych pod kątem

zagrożenia osuwiskowego. Przykładem jest centralna część miejscowości Zasadne, położona w środkowej części zlewni. Niepokojącym zjawiskiem jest tu lokalizowanie zabudowy w strefie obszaru niestabilnego. Teren ten oprócz obciążania stoku zabudową jest dodatkowo modyfikowany poprzez wprowadzanie podcięć drogowych czy nasypów ziemnych. Ponadto użytkowanie gospodarcze starych form osuwiskowych może stanowić tu czynnik inicjujący ruchy masowe, zwłaszcza podczas ekstremalnych opadów (Bucała i Starkel, 2013).

Analizując osuwiskowość badanej zlewni warto wspomnieć o zależnościach jakie występują pomiędzy zasięgiem osuwisk a odległością od cieków. Spływający w kierunku północno wschodnim potok Zasadny tworzy głęboko wciętą dolinę, tym samym wspomagając procesy osuwania się gruntu. Na mapie występowania osuwisk wzbogaconej o warstwę sieci rzecznej, wyraźnie widać pokrywanie się w ponad 85% przebiegu granicy osuwiska z wektorem potoku (Ryc. 7a). Ta zależność jest jeszcze lepiej widoczna przy buforach odległości od cieków (Ryc. 7b). Osuwiska występują w bezpośrednim sąsiedztwie cieków oraz w miejscach zasilania potoku ciekami niższej rangi. Niemal wszystkie osuwiska występują w buforze do 100 m. Największa gęstość osuwisk na badanym obszarze jest w centralnej części zlewni, gdzie występuje najbardziej rozbudowana sieć rzeczna.



Ryc. 11. A - Mapa sieci rzecznej na tle zasięgu osuwisk; B - Mapa ekwidystant cieków
 Fig. 11. A – Map of the river network on the background landslides; B - Map buffer of streams

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration

OCENA METODY

Do weryfikacji otrzymanych wyników i mapy podatności terenu na osuwanie wykorzystano dane zebrane w terenie. Nałożono obrysy zasięgu osuwisk na

opracowaną mapę, otrzymując relatywnie prawdziwy obraz rzeczywistości. Innym sposobem kalibracji mogło być zastosowanie innej metody, np. o charakterze ilościowym i zestawienie ze sobą otrzymanych wyników (Kamiński, 2012).

Reasumując warto poświęcić uwagę ocenie samej metody pod względem zalet i wad, które towarzyszyły niniejszemu opracowaniu. Zestawienie najważniejszych z nich prezentuje tabela:

Tab. 1. Ocena Indeksowej Metody Statystycznej do badania osuwiskowości.

Tab. 1. Evaluation of Landside Index Methods for testing risk of mass movement.

ZALETY	WADY
Praktyczna na potrzebny planowania przestrzennego	Wynik końcowy podyktowany jakością danych wejściowych
Możliwość zastosowania w różnych skalach opracowania	Skomplikowana procedura postępowania
Względnie prosta kalibracja mapy wynikowej	Brak standardowej i uniwersalnej skali wartości współczynnika możliwej do zastosowania w różnych skalach i regionach
Podejście ilościowe jest bardziej obiektywnym podejściem, eliminującym czynnik pomyłek i subiektywności badacza	Uogólnienie reprezentacji problemu
W literaturze szereg przykładów zastosowania metody w różnych miejscach na świecie dotkniętych problemem ruchów masowych	
Darmowa aplikacja i wsparcie techniczne autora metody	

źródło: opracowanie własne.

source: own elaboration

WNIOSKI

Najważniejszym punktem opracowania było wykazanie iż, analizowaną zlewnie potoku Zasadne cechuje wysoka podatność terenu na osuwanie. Potwierdza to rastrowa mapa opracowana Indeksową Metodą Statystyczną. Występowanie osuwisk dla tego obszaru koreluje z wysokim wskaźnikiem podatności terenu na osuwanie, gdyż niemal w całości pokrywa się z ich zasięgiem.

Podsumowując metodyczne podejście do podatności terenu na osuwanie należy uznać, iż tworzenie map obrazujące to zagadnienie jest konieczne oraz praktyczne. Przeprowadzona analiza, jak również kolejne podobne przeprowadzone w przyszłości, mogą wspomagać optymalne wykorzystanie terenu. Jest to bardzo istotne, ponieważ źle rozplanowanie elementów zagospodarowania terenu podatnego na osuwanie może przynieść straty materialne, a co najważniejsze i niestety bardzo prawdopodobne – może przyczynić się do zagrożenia zdrowia i życia ludności.

Pozyskanie materiałów oraz ich przetworzenie było kluczowe w celu wykonania finalnej mapy, jednakże wykorzystanie map tematycznych poszczególnych czynników pasywnych jest typowe dla tego typu opracowań. Należy zaznaczyć, iż do analizy można włączyć większą ilość warstw o różnorodnej tematyce, w zależności od charakteru i specyfiki danego obszaru. Warstwą która powinna być wzięta pod uwagę

w analizie(w niniejszym opracowaniu nie była sporządzona z powodu małej ilości budynków i ograniczonego czasu realizacji projektu), jest użytkowanie terenu. Wskazuje się, iż ciężar zabudowań może mieć kluczowe znaczenie przy ocenie podatności na osuwanie (Bucąła i Starkel, 2013).

Wykorzystane warstwy tematyczne potwierdziły, iż udział czynników pasywnych odgrywa kluczową rolę przy powstawaniu tego typu ruchów masowych. Nachylenie terenu oraz różna odporność skał wpisują się w powtarzaną w literaturze prawidłowość, że naprzemianległe pakiety łupkowo-piaskowcowe jak również tereny o nachyleniu na poziomie 9-14 stopni, sprzyjają postawianiu osuwisk (Długosz, 2011). Nie wykazano jednak w tym obszarze jednoznacznych powiązań pomiędzy osuwiskowością a ekspozycją.

Na prezentowanym poziomie wnioskowania Indeksową Metodę Statystyczną zaklasyfikować można jako skuteczną i sprawdzoną dla opracowań o tematyce podatności terenu na osuwanie w polskich Karpatach. Należy zaznaczyć, że nie jest to jedyna metoda statystyczna, co może stanowić perspektywę osiągnięcia kompletnych wyników i ich pełną ocenę w kontekście podatności na osuwanie. Bez względu na przyjętą metodę należy pamiętać, aby warstwy przeznaczone do analiz, uwzględniały specyfikę badanego terenu (Długosz, 2011).

Na koniec należy zaznaczyć, iż wiedza na temat podatności na osuwanie powinny być przeprowadzane w każdej gminie, w której występuje ryzyko osuwisk.

Literatura

Bucąła, A. Starkel, L. (2013). Postępująca recesja rolnictwa a zmiany w środowisku przyrodniczym polskich Karpat. *Przegląd Geograficzny* 85 (1), 15-29.

Długosz, M. (2011). *Podatność stoków na osuwanie w polskich Karpatach fliszowych*. Warszawa: IGI PAN.

Kamiński, M. (2012). Mapa podatności osuwiskowej w skali regionalnej. *Biuletyn Informacji Geologicznej* 452, 109-118.

Kleczkowski, A.(1955). *Osuwiska i zjawiska pokrewne*, Warszawa: Wyd. Geologiczne

Klimaszewski, M. (1978). *Geomorfologia*, Warszawa: PWN

Kondracki, J. (2011). *Geografia regionalna Polski*. Warszawa: PWN

Migoń, P. (2006). *Geomorfologia*. Warszawa: PWN

Poprawa, D. Rączkowski, W. (2003). Osuwiska Karpat. *Przegląd Geologiczny* 51 (8), 685-692.

Świątek, A. (2012). Nauczanie GIS w praktyce na przykładzie warsztatów Letniej Szkoły Geoinformacji GeoGorce 2012. *Prace Studenckiego Kola Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie* 1, 135-143.

Urbański, J. (2008). *GIS w badaniach przyrodniczych*. Gdańsk: Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego

Van Westen, C.J. (1994). GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Andes Colombia. *Mountain environments*. Londyn: Geographical Information System. 132-165.

Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes. *Landslides: analysis and control* 176, 12–33.

Wojciechowski, T. (2008). *Wysokościowy numeryczny model terenu (NMT) w badaniu osuwisk*. Pozyskano z http://kgp.wnoz.us.edu.pl/pliki/File/tw_files/geosymp2008.pdf.

Wojciechowski T. Borkowski A. Perski Z. Wojcik A. (2012) Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk - przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Przegląd Geologiczny* 60, 95-102.

Źródła internetowe:

<http://drm.cenn.org/Trainings> [dostęp z dnia: 25.05.2014]

www.gorzanskipark.pl [dostęp z dnia: 25.05.2014]

<http://www.pgi.gov.pl> [dostęp z dnia: 25.05.2014]

<http://www.itc.nl/ilwis/applications/application05.asp> [dostęp z dnia: 25.05.2014]

http://www.ccma.vic.gov.au/soilhealth/resource/maps_reports/susceptibility/susceptibility.htm [dostęp z dnia: 25.05.2014]